



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Ciencias

Distribución y nivel de infestación de
Arceuthobium vaginatum subsp. *vaginatum* y
Arceuthobium globosum subsp. *grandicaule* en el
bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca del río
Magdalena, México, D.F.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(Biología ambiental)

P R E S E N T A

Biól. Amabel Paula Hernández Sánchez

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: Dra. Lucía Oralia Almeida Leñero
Facultad de Ciencias, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup
CIEco, UNAM
Dr. Antonio González Rodríguez
CIEco, UNAM

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Ciencias

Distribución y nivel de infestación de
Arceuthobium vaginatum subsp. *vaginatum* y
Arceuthobium globosum subsp. *grandicaule* en el
bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca del río
Magdalena, México, D.F.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(Biología ambiental)

P R E S E N T A

Biól. Amabel Paula Hernández Sánchez

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: Dra. Lucía Oralia Almeida Leñero
Facultad de Ciencias, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup
CIEco, UNAM
Dr. Antonio González Rodríguez
CIEco, UNAM

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/479/12

ASUNTO: Oficio de Jurado

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **27 de agosto de 2012** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del (la) alumno (a) **HERNÁNDEZ SÁNCHEZ AMABEL PAULA** con número de cuenta **302085781** con la tesis titulada "**Distribución y nivel de infestación de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* y *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca del río Magdalena, México, D. F.**", realizada bajo la dirección del (la) **DRA. LUCÍA ORALIA ALMEIDA LEÑERO:**

Presidente: DR. ANTONIO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Vocal: DR. DAVID CIBRIÁN TOVAR
Secretario: DRA. MARTHA JUANA MARTÍNEZ GORDILLO
Suplente: DRA. MARÍA CECILIA DEL CARMEN NIETO DE PASCUAL POLA
Suplente: DR. DIEGO RAFAEL PÉREZ SALICRUP

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 5 de octubre de 2012


Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa



MCAA/MJFM/ASR/grf*

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada (CVU/Becario: 365494/245531)

Al ICyTDF por la beca de terminación de tesis de maestría, otorgada en el marco del proyecto “Calidad forestal en la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces, escenario base para el combate al cambio climático (PICSO10-5)”

A los miembros del Comité tutor:

- Dr. Diego R. Pérez Salicrup, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM
- Dr. Antonio González Rodríguez, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A los miembros del jurado:

- Dr. Diego R. Pérez Salicrup por su valiosa contribución a la tesis, por su ayuda y por su buena disposición en todo momento.
- Dr. Antonio González por su valioso aporte a la tesis y su apoyo.
- Dr. David Cibrián por sus conocimientos compartidos sobre el muérdago enano y por su tiempo dedicado a la revisión.
- Dra. Martha Juana Martínez por sus comentarios y por su tiempo brindado a la revisión.
- Dra. María Cecilia del Carmen Nieto por su asesoría, palabras de aliento y tiempo destinado a la revisión.

A la Facultad de Ciencias, UNAM.

A la Dra. Lucía Almeida por la dirección de la tesis, por su entera confianza en mí y por su apoyo en mi vida académica y personal.

Al Dr. Víctor Ávila Akerberg por su apoyo al inicio de esta investigación, por la cartografía de la CRM proporcionada y por la revisión de una versión inicial de la tesis.

A la M. en C. Verónica Aguilar y al Biól. Erick Gutiérrez por su ayuda en el manejo de SIG.

A todas las personas que me ayudaron en campo: Dr. Víctor Ávila Akerberg, Nancy Visuet, Biól. Mildrette Vázquez, Biól. Nihaib Flores, Diana Blue, Biól. Inti Burgos, M. en C. Verónica Aguilar, Gustavo, Miguel y M. en C. Bety González. Muchísimas gracias a todos!

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mi mami, por mostrarme el camino para llegar a donde me encuentro.

A mi papá y hermana, por ayudarme a capturar datos y más datos.

A mi tía Carmen y a mi prima Diana por su gran apoyo.

A Nancy, Mildrette, Nihaib, Erick y Diana Blue, por hacer que todo sea divertido y por siempre estar dispuestos a ayudarme.


A Leslie, por su linda amistad, su alegría y por las pláticas divertidas e intensas.


A Yumiko y Nayeli, por ser hermosas amigas, por siempre escuchar y por las pláticas divertidas, reflexivas, intensas y reconfortantes.

A Becky por su cariño y a Luis por el dalái y las comidas divertidas.

A Fabiola, Ana Laura, Denisse, Claudia, Luzma, Nancy, Sara y Lorraine por ser grandes amigas, compañeras de muchos momentos y por su cariño desde hace tanto.

DEDICATORIA

A mi abuelita Paula gracias por ayudarme, cuidarme y estar conmigo en todo espacio y tiempo! 

A mi mami, gracias por darme lo mejor de ti, nuestras manos juntas SIEMPRE! 

A mi papi, a mi hermana Indira Brunei y a su bebé, tengo una gran suerte de que sean mi familia, los amo con todo mi fuerza!

A Rolando, por mantenerme viva con todo lo que nos sucede, te quiero!

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
Resumen	1
Abstract	3
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Plagas forestales.....	5
1.2 Plantas hemiparásitas: género <i>Arceuthobium</i>	6
<i>Arceuthobium vaginatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. subsp. <i>vaginatum</i>	8
<i>Arceuthobium globosum</i> Hawksw. & Wiens subsp. <i>grandicaule</i> Hawksw. & Wiens.....	8
1.3 Relación parásito-hospedante.....	11
1.4 Manejo de muérdago enano.....	13
II. ÁREA DE ESTUDIO	16
2.1 Cuenca del río Magdalena (CRM), Distrito Federal.....	16
2.2 Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	18
2.3 Usos del muérdago enano en la CRM.....	20
2.4 Interacciones de la fauna de la CRM con el muérdago enano.....	20
2.5 Antecedentes en la zona de estudio.....	21
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. OBJETIVOS	22
V. HIPÓTESIS	22
VI. MÉTODO	23
6.1 Fase de campo.....	23
6.2 Fase de gabinete.....	24
VII. RESULTADOS	28
7.1 Distribución y superficie infestada por muérdago enano.....	28
7.2 Probabilidad de ocurrencia de <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i>	31
7.3 Probabilidad de ocurrencia de <i>A. globosum</i> subsp. <i>grandicaule</i>	32
7.4 Distribución potencial de muérdago enano.....	32

CONTENIDO	Pág.
7.5 Porcentaje de árboles infectados por muérdago enano.....	35
7.6 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i>	35
7.7 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por <i>A. globosum</i> subsp. <i>grandicaule</i>	36
7.8 Clases de infestación en el bosque de <i>P. hartwegii</i> de la CRM.....	37
7.9 Probabilidad de ocurrencia de los niveles de infestación.....	40
VIII. DISCUSIÓN.....	41
IX. CONCLUSIONES.....	49
X. LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	Pág.
7.2 Probabilidad de ocurrencia de <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i>	
Cuadro 1. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.....	31
7.3 Probabilidad de ocurrencia de <i>A. globosum</i> subsp. <i>grandicaule</i>	
Cuadro 2. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.....	32
7.5 Porcentaje de árboles infectados por muérdago enano	
Cuadro 3. Porcentaje de individuos de <i>P. hartwegii</i> infectados según su clase diamétrica y altimétrica.....	35
7.6 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i>	
Cuadro 4. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.....	35
7.7 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por <i>A. globosum</i> subsp. <i>grandicaule</i>	
Cuadro 5. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.....	36
7.9 Probabilidad de ocurrencia de los niveles de infestación	
Cuadro 6. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1.2 Plantas hemiparásitas: género <i>Arceuthobium</i>	
Figura 1. <i>Arceuthobium vaginatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. subsp. <i>vaginatum</i> ...	10
Figura 2. <i>Arceuthobium globosum</i> Hawksw. & Wiens subsp. <i>grandicaule</i> Hawksw. & Wiens	10
2.1 Cuenca del río Magdalena (CRM), Distrito Federal	
Figura 3. Localización de la cuenca del río Magdalena (CRM), D.F.	17
2.2 Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	
Figura 4. Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> de la CRM, D.F.	19
7.1 Distribución y superficie infestada por muérdago enano	
Figura 5. Presencia/ausencia de muérdago enano en la CRM, D.F.	29
Figura 6. Superficie infestada por muérdago enano en la CRM, D.F.	30
7.4 Distribución potencial de muérdago enano	
Figura 7. Distribución potencial de <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i> en las comunidades pastizal- <i>P. hartwegii</i> y <i>P. hartwegii</i> -pastizal del bosque de pino de la CRM, D.F.	33
Figura 8. Distribución potencial de <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i> en la comunidad <i>P. hartwegii</i> del bosque de pino de la cuenca del río Magdalena, D.F.	34
7.8 Clases de infestación en el bosque de <i>P. hartwegii</i> de la CRM	
Figura 9. Total de individuos (2355) de <i>P. hartwegii</i> infectados por <i>A. vaginatum</i> subsp. <i>vaginatum</i> distribuidos según su nivel de infestación.....	37
Figura 10. Total de individuos (627) de <i>P. hartwegii</i> infectados por <i>A. globosum</i> subsp. <i>grandicaule</i> distribuidos según su nivel de infestación.....	38
Figura 11. Nivel de infestación de las parcelas.....	38
Figura 12. Ubicación de las parcelas y su nivel de infestación.....	39
8. Discusión	
Figura 13. Esquema que sintetiza las relaciones entre las variables independientes y las distintas probabilidades de ocurrencia analizadas con el modelo de regresión logística.....	42

RESUMEN

Distribución y nivel de infestación de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* y *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca del río Magdalena, México, D.F.

Los muérdagos enanos (*Arceuthobium* spp.) son plantas hemiparásitas que en México afectan a los géneros *Pinus*, *Abies* y *Pseudotsuga* y son, después de los incendios e insectos descortezadores, la tercera causa de degradación de bosques templados. En este estudio se abordaron varios objetivos: conocer la distribución actual y área que ocupa el muérdago enano en el bosque de *P. hartwegii* de la cuenca del río Magdalena, modelar su probabilidad de ocurrencia, conocer su distribución potencial, evaluar el nivel de infestación mediante el sistema de seis clases de Hawksworth, modelar la probabilidad de incidencia del muérdago enano y modelar la probabilidad de ocurrencia de los distintos niveles de infestación. Se visitaron 464 sitios seleccionados aleatoriamente, en los que se registró: la presencia/ausencia de muérdago enano, pendiente, orientación, altitud, distancia al camino más cercano y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*. Adicionalmente, se realizó un muestreo dirigido que consistió en 70 parcelas, en las cuales se evaluó el nivel de infestación de cada individuo de *P. hartwegii*, además de registrar el diámetro a la altura del pecho y altura de los pinos, número de árboles muertos en pie y tocones, y las cinco últimas variables antes mencionadas. Las probabilidades de ocurrencia se modelaron mediante una regresión logística. Se generó un mapa de puntos de presencia/ausencia, un mapa de interpolación para conocer el área infestada aproximada, un mapa de ubicación y nivel de infestación de las parcelas y un mapa de distribución potencial a partir de la representación espacial del modelo predictivo. El área infestada es de 353.5 ha (35% del bosque); *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* es la especie que ocupa mayor superficie (319.6 ha), su ocurrencia está relacionada positivamente con la pendiente, y negativamente con la altitud, la distancia al camino más cercano y el tipo de comunidad "*P. hartwegii*". La ocurrencia de *A. globosum* subsp. *grandicaule* solo se relacionó negativamente con la distancia al camino más cercano. Del total de árboles censados, 72% está

infectado por muérdago enano. El 63% de individuos infectados son menores a 6 m de altura y 89.8% presentan DAP menores a 25 cm. Del total de árboles infectados, 79% presentó infección por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. La incidencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* se relacionó positivamente con el número de árboles muertos en pie y el tipo de comunidad "*P. hartwegii*", y negativamente con el DAP. La incidencia de *A. globosum* subsp. *grandicaule* se relacionó positivamente con el número de tocones y negativamente con el DAP. El nivel de infestación "uno" fue el más frecuente. La probabilidad de ocurrencia de éste nivel solo se relacionó negativamente con la altura de los árboles. Así, ambas especies requieren de condiciones distintas para su distribución e incidencia. El nivel de infestación solo depende de características propias de los árboles y no de las variables ambientales ni antrópicas consideradas. Los mapas generados permiten conocer y analizar la distribución y el nivel de infestación de muérdago enano en la zona de estudio, así como identificar de manera práctica zonas prioritarias para recibir tratamiento y zonas que pueden ser manejadas mediante un programa de prevención.

Palabras clave: bosque de pino, distribución potencial, muérdago enano, patología forestal, Suelo de conservación.

ABSTRACT**Distribution and level of infestation of *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* and *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* in the *Pinus hartwegii* forest of the Magdalena river watershed, Mexico City**

Dwarf mistletoes (*Arceuthobium* spp.) are hemiparasitic plants that, in Mexico, affect the genera *Pinus*, *Abies*, and *Pseudotsuga*, and are -after fires and bark insects- the third cause of degradation in temperate coniferous forests. Several objectives were approached in this study: to know the current distribution and surface area covered by dwarf mistletoe in the *P. hartwegii* forest of the Magdalena river watershed; to predict its probability of occurrence; to know its potential distribution range; to evaluate the infection severity by Hawksworth's six-class rating system; to predict probability of incidence of dwarf mistletoe and to predict the probability of occurrence of the different infestation levels. We visited 464 randomly selected sites where the presence/absence of dwarf mistletoe, slope, aspect, elevation, distance to the nearest road and the community type according to the canopy cover of *P. hartwegii* were registered. Furthermore, directed sampling consisting of 70 plots was performed, allowing the evaluation of the infestation levels, diameter at breast height and height of the pines, number of standing dead trees and stumps, and the five last above mentioned variables. The probability of occurrence was predicted by logistic regression. Four maps were generated: a presence/absence point map, an interpolated map -to know the infested rough area-, a location and infestation levels plots point map, and a potential distribution range map accomplished through the spatial representation of the predictive model. The infested surface area is of 353.5 hectares (35% of the forest); *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* is the species that occupies the most surface (319.6 ha); its occurrence is positively related with the slope, and negatively with the elevation, the distance to the nearest road, and the community type "*P. hartwegii*". The occurrence of *A. globosum* subsp. *grandicaule* is only negatively related to the distance to the nearest road. Seventy-two percent of the registered trees were found to be infected by dwarf mistletoe. Sixty-three percent of infected individuals were less than six meters tall and 89.8%

presented a DBH less than 25 cm. Seventy-nine percent of the total infected trees presented infection from *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. The incidence of *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* is positively related with the number of standing dead trees and the community type "*P. hartwegii*", and negatively with the DBH. The incidence of *A. globosum* subsp. *grandicaule* is positively related with the number of stumps and negatively with the DBH. The infestation level "one" is the most frequent in the forest. The probability of occurrence of this level is negatively related only with the height of the trees. Thus, both dwarf mistletoe species require different conditions for their distribution and incidence. The infestation levels seem to depend only on characteristics related to the tree and not to the environmental or anthropic variables considered. The generated maps allow us to know and analyze the distribution and infestation level of the dwarf mistletoe in the study zone, enabling us to identify priority zones in need of treatment, as well as the zones that can be managed with a prevention program.

Key words: dwarf mistletoe, forest pathology, pine forest, potential distribution, *Suelo de conservación*.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Plagas forestales

Los bosques están expuestos a diversas enfermedades que pueden causar la muerte de los árboles o reducir su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (FAO, 2006). Uno de los principales problemas de salud forestal es la presencia de plagas. Una plaga forestal es cualquier organismo patógeno que ocasiona daños de tipo mecánico o fisiológico a los árboles y por lo regular causan pérdidas económicas a los humanos. En México son una de las principales causas de deterioro en los bosques templados. Actualmente se reconocen 250 especies de patógenos que afectan el arbolado nacional (SEMARNAT, 2012).

Las plantas parásitas son una plaga forestal de importancia en el país (Cibrián *et al.*, 2007). El parasitismo es una interacción biológica interespecífica que se lleva a cabo entre un parásito y su hospedante. Se establece durante una parte o totalidad de sus ciclos biológicos, en la que el parásito utiliza al hospedante como hábitat temporal o permanente y como fuente de alimentos para cubrir sus necesidades energéticas, de lo que resultan daños en el hospedante (Arauz, 1998). De las 250 mil especies de angiospermas conocidas, solo aproximadamente 1% son parásitas (Díaz y López, 2008). Cuando la planta parásita carece de clorofila y por lo tanto toma todos sus recursos energéticos del hospedante, se trata de una holoparásita. Si la planta presenta clorofila y no depende totalmente del hospedante para obtener sus recursos es hemiparásita (Henning, 2008).

En México los datos oficiales y más recientes acerca de la superficie afectada por plagas forestales son los de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales publicados en el “Compendio de estadísticas ambientales, 2011” (SEMARNAT, 2012), año en el cual 675,897 ha fueron diagnosticadas en México. Plagas como el gusano barrenador, insectos defoliadores, insectos descortezadores, plantas parásitas (muérdago) y otros problemas de salud como el declinamiento del encino, royas o pudrición de raíz y fuste, están presentes en 71,412 ha del país, de las cuales 36,768 ha están afectadas por plantas parásitas. En el caso del Distrito Federal (D.F.), en el mismo compendio se menciona que de las 950 ha de superficie forestal que recibieron diagnóstico en el año 2011, se registraron 1,055 ha con presencia de plagas, de las

cuales 692 ha se encuentran afectadas por plantas parásitas y 363 ha por insectos descortezadores (SEMARNAT, 2012). Sin embargo, es posible que los datos que corresponden al D.F. sean erróneos, ya que se menciona una mayor cantidad de hectáreas con problemas de salud que las que fueron diagnosticadas. Por otra parte, también se menciona que de las 692 ha afectadas por muérdago, 320 ha recibieron tratamiento. En cuanto a estos datos cabe destacar lo siguiente:

- La cifra de hectáreas diagnosticadas en el año 2011 es muy baja puesto que, corresponde al 1.08% de suelo de conservación del D.F.
- En el compendio no se menciona la localización geográfica o en su defecto a cuáles delegaciones del D.F. corresponden las hectáreas diagnosticadas, afectadas y/o con tratamiento.

1.2 Plantas hemiparásitas: género *Arceuthobium*

Una familia representativa de plantas parásitas es Santalaceae. El género *Arceuthobium* pertenece a esta familia y comprende 42 especies, todas llamadas comúnmente “muérdago enano” (Hawksworth y Wiens, 1996; Cibrián *et al.*, 2007). Sin embargo, Nickrent *et al.* (2004) propusieron una nueva clasificación donde se reduce el número de especies del género *Arceuthobium* de 42 a 26.

En México 18 especies de muérdago enano parasitan al género *Pinus*, dos al género *Abies* y una al género *Pseudotsuga* (Cibrián *et al.*, 2007) y son la tercera causa de degradación de bosques templados después de los incendios e insectos descortezadores (Caballero, 1970, citado por Vázquez *et al.*, 2006).

Los muérdagos enanos por lo general son plantas pequeñas, de hasta de 70 cm. Tienen hojas reducidas a escamas y sus tallos tienen coloraciones que varían de verde a amarillo, café, rojo o negro; son quebradizos, con nudos gruesos, definidos, lisos y brillantes. El hábito de ramificación común es flabelado, aunque también se presenta verticilado. Las plantas son dioicas, aunque los individuos masculinos y femeninos generalmente se desarrollan en el mismo árbol. Las inflorescencias femeninas son opuestas, formadas por dos flores y las masculinas por

tres. Los frutos tienen un mecanismo de dispersión explosivo de la semilla que le permite viajar distancias de hasta 17 metros; son ovoides y la mayoría tienen un pedicelo que a la madurez se curva para liberar la semilla, la cual está impregnada de una sustancia mucilaginosa llamada viscina que le permite adherirse a cualquier superficie. Cuentan con un sistema endofítico muy desarrollado, ya que por medio de su sistema cortical conectan al floema del hospedante y obtienen nutrientes, y por medio de haustorios conectan al xilema y consiguen agua y minerales (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007).

El ciclo biológico comprende cuatro fases: dispersión, establecimiento, incubación y reproducción. Debido a que las poblaciones de muérdago enano tienen una distribución agregada, las infestaciones se describen con base en los criterios siguientes: incidencia (porcentaje de árboles infectados), severidad (abundancia relativa por hospedante), extensión (área de distribución) y patrones temporales (contagio) (Hawksworth *et al.*, 2002).

Las especies de muérdago enano con amplia distribución en bosques de pino en México son (Cibrián *et al.*, 2007):

1) *Arceuthobium vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. subsp. *vaginatum*. Se encuentra en el D.F. y 18 estados del país, sus hospedantes son: *Pinus arizonica* var. *arizonica* Engelm. y var. *stormiae* Martínez, *P. cooperi* C.E. Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. engelmannii* Carrière, *P. hartwegii* Lindl., *P. herrerae* Martínez, *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon, *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schltdl. & Cham., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. rudis* Endl., raramente en *P. culminicola* Andresen & Beaman, *P. teocote* Schltdl. & Cham. y *P. oaxacana* Mirov.

2) *Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens subsp. *grandicaule* Hawksw. & Wiens. Se halla en el D.F. y 14 estados de la República Mexicana, sus hospedantes son: *P. douglasiana* Martínez, *P. durangensis* Martínez, *P. hartwegii* Lindl., *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon, *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. michoacana* Martínez, *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schltdl. & Cham., *P. pringlei*, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. rudis* Endl. y *P. teocote* Schltdl. & Cham.

Los hospedantes de muérdago enano se clasifican según su susceptibilidad a la infección en: principales, secundarios, ocasionales y raros. A los hospedantes potenciales que no son parasitados se les denomina inmunes. La especie *P. hartwegii* está clasificada como hospedante

principal de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule* (Hawksworth y Wiens, 1996).

Arceuthobium vaginatum (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. **subsp. *vaginatum***

Descripción. Plantas erguidas, de 30 a 50 cm de alto; tallos anaranjados a cafés, oscuros o negros, ramificados, internodos de 1 a 3.5 cm de largo por 0.3 a 1.2 cm de ancho; hojas reducidas a escamas, sin clorofila; flor masculina de 3.5 mm de largo; flor femenina de 1.5 a 2.5 mm de largo; fruto obovoide, de 4 a 6 mm de largo por 2 a 3 mm de ancho. Se distribuye de los 2100 a los 3900 msnm. Además de muérdago enano también es comúnmente llamada “flor de ocote” (Figura 1) (Rzedowski *et al.*, 2001; Hawksworth *et al.*, 2002; Cibrián *et al.*, 2007).

Ciclo biológico. Los frutos maduros liberan sus semillas en los meses de agosto y septiembre; durante septiembre y octubre las semillas que caen sobre las acículas o brotes tiernos germinan y sus radículas forman un callo de penetración que se introduce al floema y al cambium del hospedante. Un año después, por el sitio de penetración, surgen los primeros brotes aéreos. El sistema endofítico se forma a partir del cambium: en el floema existe abundante tejido del muérdago; en el xilema, cada año los nuevos anillos de madera rodean los haustorios. Las plantas masculinas forman sus primeras flores hasta dos años después de su nacimiento y las plantas femeninas requieren un mínimo de dos años; la polinización ocurre en los meses de marzo a mayo y el desarrollo de frutos requiere poco más de un año (Cibrián *et al.*, 2007).

Usos. Se emplea en la medicina tradicional para el control de la diabetes (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005) y para curar nervios, reumas, dolor de pulmones y tos (Martínez, 1958; González *et al.*, 2004). Su extracto vegetal presenta actividad antimicrobiana sobre las bacterias *Streptococcus mutans* y *S. pyogenes* (Hernández-Sánchez, 2009).

Arceuthobium globosum Hawksw. & Wiens **subsp. *grandicaule*** Hawksw. & Wiens

Descripción. Planta de hasta 70 cm de alto, con tendencia a formar agrupaciones globosas, glabra, con tallos de color amarillo claro o amarillo-verdoso, muy ramificados, internodos de 1.2 a 4.2 cm de largo por 0.3 a 1 cm de ancho; hojas reducidas a escamas; flor masculina de 3.5 mm de largo; flor femenina de 1.5 mm de largo; fruto elíptico-ovado, de 6 mm de largo y 3.5 mm de

ancho, su color presenta dos tonos de verde: uno claro y el otro grisáceo; la semilla tiene forma de bala y mide 5 mm de largo por 3 mm de ancho, es de color verde oscuro. Se distribuye de los 2450 a los 4000 msnm. Además de muérdago enano también es comúnmente llamada “flor de ocote” o “retoño de ocote” (Figura 2) (Hawksworth *et al.*, 2002; Rzedowski *et al.*, 2001).

Ciclo biológico. La floración y la polinización suceden entre marzo y abril, la semilla se libera entre junio y septiembre del siguiente año, el tiempo de la formación de la semilla es de 14 a 16 meses. Al desprenderse el fruto, la semilla se expele de forma violenta a velocidades iniciales de 100 km/hora y puede alcanzar distancias de hasta 30 m en dirección horizontal, pero la mayoría cae en un radio de 5 m. Algunas veces la semilla se transporta de manera accidental por aves o mamíferos hasta llegar a otros árboles; después de su vuelo, las semillas quedan adheridas a la base de las acículas donde pocos días después germinan y dan lugar a una radícula que crece de 1 a 4 cm, de color rojizo; en su extremo distal forma un callo que crece hacia el interior de la corteza y llega hasta el cambium, una vez ahí, la parte aérea se desprende. En el interior, el primordio del muérdago crece hacia el cambium y floema. No se sabe cuánto tiempo después brotan los tallos externos (Cibrián *et al.*, 2007).

Usos. Se emplea en la medicina tradicional para tratar la tos (Rzedowski *et al.*, 2001).

Los requerimientos ecológicos de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule* son muy similares. La simpatría entre estas dos especies es muy común, incluso ambas pueden hallarse en el mismo árbol, a lo que se conoce como parasitismo dual (Hawksworth y Wiens, 1996).



Figura 1. *Arceuthobium vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl. subsp. *vaginatum*



Figura 2. *Arceuthobium globosum* Hawsw. & Wiens subsp. *grandicaule* Hawsw. & Wiens

1.3 Relación parásito-hospedante

La relación entre el muérdago enano y sus diferentes hospedantes ha sido estudiada desde diferentes aspectos, tales como:

- *Daños ocasionados por la infección*

Los hospedantes de muérdago enano durante la infección presentan diversos síntomas como: cambios en la forma y reducción en la producción de conos; alteración en la cantidad y calidad de la semilla y en el crecimiento, tanto en altura como en volumen; alteración en la calidad de la madera; decremento de vigor; formación de escobas de bruja (aparición de las ramas) y predisposición al ataque de insectos y enfermedades. Estos síntomas, a su vez, se ven afectados por la edad del hospedante, competencia, calidad del sitio y el clima. Incluso, la infección puede ocasionarles la muerte (Geils y Hawksworth, 2002; Vázquez *et al.*, 2006). Algunos de los estudios que sustentan lo anterior son:

Tinnin *et al.* (1982) mencionan que los muérdagos enanos inducen el desarrollo anormal de las ramas infectadas, dándoles la apariencia de “escobas de bruja”. Señalan que las escobas aumentan la tasa de mortalidad del hospedante y la probabilidad de incendio dentro de la zona infectada. Geils y Hawksworth (2002) indican que existe una gran variedad de formas de escobas, las cuales están determinadas por la distribución del sistema endófito y por el patrón de ramificación del hospedante. La especie *A. globosum* es de las pocas que no induce la generación típica de escobas. En cambio, *A. vaginatum* induce tres distintas formas.

Uribe (1985) detectó que *Arceuthobium* reduce la amplitud de los últimos anillos de crecimiento, el diámetro, la altura y el volumen de individuos jóvenes de *P. hartwegii*.

Mathiasen *et al.* (1990) identificaron que *A. douglasii*, en infecciones leves, no tienen efectos significativos sobre el volumen medio de *Pseudotsuga menziesii*, pero si se trata de una infección moderada afecta de un 10 a 25% y si la infección es severa afecta de un 45 a 65% del mismo. Mencionan también que en rodales severamente infectados, la mortalidad es tres o cuatro veces más alta que en rodales sanos.

Muir *et al.* (2004) muestran que el crecimiento de los hospedantes de *A. tsugense* se minimiza significativamente cuando presentan un nivel moderado de infección. Los efectos de la infección son evidentes hasta los 20 años de edad. En los árboles severamente infectados, al compararlos

con los levemente infectados o sanos, se detiene significativamente el crecimiento en altura y no en diámetro. Los árboles de 60 a 90 años pueden mostrar interrupciones significativas en su crecimiento y la calidad de la madera disminuye debido a los nudos que forma el muérdago enano.

Flores (2008) encontró que los efectos negativos de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* sobre el crecimiento de *Pinus cooperi* son más severos en términos de volumen que de altura; en cuanto a volumen se estiman mermas hasta de casi 60%, mientras que en altura solo llegan a 17%. Los árboles levemente infectados, en general no muestran mermas en su crecimiento. La autora reconoció un patrón consistente que indica que los árboles con nivel de infección moderada son los que mostraron las mayores mermas en el crecimiento, superando incluso a los árboles con infección severa.

- *Ecología del muérdago enano*

Bajo este tema se han realizado diversos estudios que buscan conocer la incidencia, la abundancia relativa y la distribución del muérdago enano, así como las características de los hospedantes. Algunos de estos trabajos se mencionan a continuación:

Hernández-Benítez *et al.* (2005) indican que en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México, la mayoría de los árboles de *P. hartwegii* infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule* (76.6%), son mayores a dos metros de altura y que los pinos menores a dicha altura presentan un nivel de infestación bajo.

Queijeiro (2007) encontró en el mismo parque arriba referido, que *A. globosum* subsp. *grandicaule* tiene una distribución más restringida que *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. Menciona que existe una distribución diferencial dentro de los pinos cuando ambas especies se establecen en un mismo individuo, ya que *A. vaginatum* se halla a menor altura dentro del árbol que *A. globosum*.

Ramírez y Porcayo (2010) determinaron la distribución espacial de las poblaciones de muérdago enano en la ladera norte del Parque Nacional del Nevado de Toluca, Estado de México, mediante la utilización de la estadística no espacial y espacial. Encontraron que tiene una distribución agregada, con varios centros de agregación y puntualizan que los métodos no espaciales presentan serias deficiencias y limitaciones. Concluyen que la altitud y el diámetro

del tronco del pino no influyen en el establecimiento de la agregación de las poblaciones del muérdago enano.

- *Biología del muérdago enano*

Este tipo de estudios han estado orientados al conocimiento de la fenología del muérdago enano, por ejemplo, Gutiérrez y Reséndiz (1994) estudiaron la fenología de *A. vaginatum* en el Desierto de los Leones, D.F., mencionan que la fase de floración sucede de enero a junio y la fructificación de febrero a octubre. La dispersión de las semillas comprende un lapso de 12 semanas y está relacionada con un aumento en la humedad ambiental, además mencionan que las condiciones de sombra retrasan las fenofases, ya que ocurren primero en sitios que reciben abundante radiación solar.

- *Otro tipo de investigaciones*

- Estudios sobre la relación entre el muérdago enano y otros organismos se han desarrollado recientemente; algunos de estos son el de Shaw *et al.* (2004) quienes proporcionan un listado de aves y mamíferos que interactúan con el muérdago enano y el de Cullings *et al.* (2005) y Cullings y Hanely (2010) quienes revelan que las infecciones de muérdago enano además de afectar a su hospedante también influyen sobre la estructura y función de las comunidades de hongos ectomicorrícicos.

- En un tema distinto, trabajos como el de Gutiérrez-González (2012) y Gutiérrez-González *et al.* (*en prensa*) comienzan a surgir, en ellos se analiza la genética de árboles de *Pinus hartwegii* resistentes e infectados por muérdago enano, con el propósito de identificar y caracterizar genes de resistencia en los pinos a especies parásitas y así constituir una base para su preservación.

1.4 Manejo de muérdago enano

Por lo regular el manejo de estas plantas hemiparásitas consiste en medidas de control silvícola y químico (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007; CONAFOR, 2010). Cabe resaltar que si bien el muérdago enano no puede ser erradicado totalmente, ya que forma parte integral de los bosques templados (Vázquez *et al.*, 2006), el desarrollo de métodos de control es fundamental,

ya que se prevé el aumento de esta plaga como respuesta al cambio climático global (Ayres y Lombardero, 2000; Boland *et al.*, 2004).

- *Control silvícola*

Consiste en la realización de podas de las ramas infectadas y en la remoción de árboles de acuerdo a una previa evaluación del nivel de infestación de los rodales plagados, para esto, se utiliza el sistema de seis clases de Hawksworth (1977) aceptado como estándar en Estados Unidos, Canadá y México. Las clases de infestación son seis: “uno” y “dos” se considera infestación leve, “tres” y “cuatro” infestación moderada y “cinco” y “seis” infestación severa. Los niveles “uno”, “dos” y “tres” tienen poco o nulo impacto en el crecimiento de árboles grandes; los niveles “cuatro”, “cinco” y “seis” disminuyen el crecimiento y vigor de los árboles, por lo tanto presentan riesgo de morir. En cuanto a los brinzales y arbolado joven pueden estar afectados seriamente en las clases “uno”, “dos” y “tres” (Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián *et al.*, 2007). Este sistema es usado actualmente por la Comisión Nacional Forestal en sus prácticas de saneamiento en los bosques del país. Por lo regular, se recomienda hacer podas en rodales infestados cada dos años. En el caso de árboles con infección severa en la copa o en el tronco se recomienda su remoción (CONAFOR, 2010).

- *Control químico*

Consiste en la aplicación del ácido 2 (cloroetil) fosfónico (Ethrel o Etephon®), el cual es un regulador de crecimiento que al ser absorbido por el muérdago, se descompone y libera acetileno. Después de 15 días de la aplicación, la parte aérea del muérdago se cae, pero no elimina el sistema endófito, por lo que a los seis meses la planta vuelve a brotar. Esta sustancia solo es aplicable al arbolado joven y renuevo. En Michoacán y en el Estado de México se ha logrado el control de *A. globosum* con este químico (Vázquez *et al.*, 2006).

- *Control biológico*

En cuanto a este tipo de control, se ha probado un producto orgánico constituido a base de polvo de diatomeas llamado Muérdago Killer®. Actúa alterando el proceso de respiración y de la permeabilidad de la membrana celular en la fotosíntesis e inhibiendo la división celular y la síntesis de clorofila en las plantas de muérdago. Coria *et al.* (2011) mencionan que con este producto se obtienen resultados muy parecidos a los que se consiguen con Etephon®, ya que se

logra la supresión de la parte aérea de *A. globosum* subsp. *grandicaule* (muerte del área foliar a los 15 días y caída de toda la parte aérea a los 45 días).

Por otra parte, en el país se han registrado diversas especies que pueden ser estudiadas para este tipo de control. Insectos que se alimentan de tallos de muérdago enano cuando están tiernos, como *Neoborella* sp. (orden Hemiptera) en *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *Niveaspis volcanica* (orden Hemiptera) en *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule*. Hongos que causan marchitez de los tallos del muérdago enano como *Colletotrichum gloesporoides* (orden Glomerellales), *Aureobasidium pullulans* (orden Dothideales) y *Alternaria alternata* (orden Pleosporales) y hongos que atacan las flores femeninas como *Wallrothiella arceuthobii* (orden Botryosphaerales). Incluso insectos polinizadores pueden ser controlados para limitar la fecundación de flores, reduciendo así la fructificación, por ejemplo, *Capidosom bakeri* (orden Hymenoptera) polinizador más importante de *A. vaginatum* (Vázquez *et al.*, 2006).

II. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Cuenca del río Magdalena (CRM), Distrito Federal

La cuenca del río Magdalena (CRM) se ubica al SW del Distrito Federal (D.F.), en la Sierra de las Cruces (Figura 3). Abarca las delegaciones políticas Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa en las coordenadas geográficas 19° 13' 53" N y 99° 20' 30" W; ocupa una extensión aproximada de 2925 ha. Se localiza dentro de la Cordillera Volcánica Transmexicana con altitudes que van de 2470 (límite urbano) hasta 3870 msnm al SW (cerro del Muñeco) (Ávila-Akerberg, 2002). Abarca 4% del suelo de conservación del D.F. (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Colinda al SE con la cuenca del río Eslava, al NW con las cabeceras de las cuencas de los ríos Hondo, Mixcoac, Barranca de Guadalupe y San Miguel. El área está formada por material ígneo extrusivo de origen terciario y cuaternario donde predominan los Andosoles, suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas (Álvarez, 2000). Hay un gran número de escurrimientos, siendo el principal el río Magdalena, uno de los cuerpos de agua más importantes de la ciudad de México con aguas perennes y limpias dentro de la zona boscosa que aportan el 2% del recurso hídrico que se consume en el D.F. (Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Éste, nace en las faldas de los cerros La Palma, Muñeco, San Miguel y Cochinos, siendo alimentado por numerosos manantiales y afluentes de otros cerros. El río Magdalena cuenta con un escurrimiento perenne debido a los manantiales que lo surten; sigue un curso en dirección NE y el cauce tiene una longitud aproximada de 21600 m. Una porción de esta agua es captada por la planta de tratamiento localizada en el primer Dinamo, y otra parte continúa hasta unirse al río Mixcoac para formar el río Churubusco, el cual desemboca en el Lago de Texcoco (Álvarez, 2000).

Los tipos de climas en la CRM son dos: en la parte urbana y hasta los 3100 msnm el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (temperatura media anual 12 a 18 °C) y en la parte alta de los 3100 a los 3870 msnm es semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (temperatura media anual 5 a 12 °C) (Dobler, 2010).

En cuanto a la vegetación, se distinguen tres comunidades vegetales (Ávila-Akerberg, 2002; Nava, 2003): 1) *Pinus hartwegii*, distribuida en la parte más alta (3300-3870 msnm), donde se reconocen dos asociaciones vegetales: *Muhlenbergia quadridentata-Pinus hartwegii* y *Festuca toluensis-Pinus hartwegii*. 2) *Abies religiosa*, ubicada en la parte media (2750-3500 msnm), en

esta comunidad se reconocen tres asociaciones vegetales: *Acaena elongata-Abies religiosa*, *Roldada angulifolia-Abies religiosa* y *Abies religiosa-Senecio cinerarioides*. 3) Bosque mixto y de *Quercus*, en la parte baja (2470-3100 msnm), en esta comunidad se reconocen tres asociaciones vegetales: *Abies religiosa-Quercus laurina*, *Quercus laurina-Quercus rugosa* y *Pinus patula-Cupressus lusitanica*.

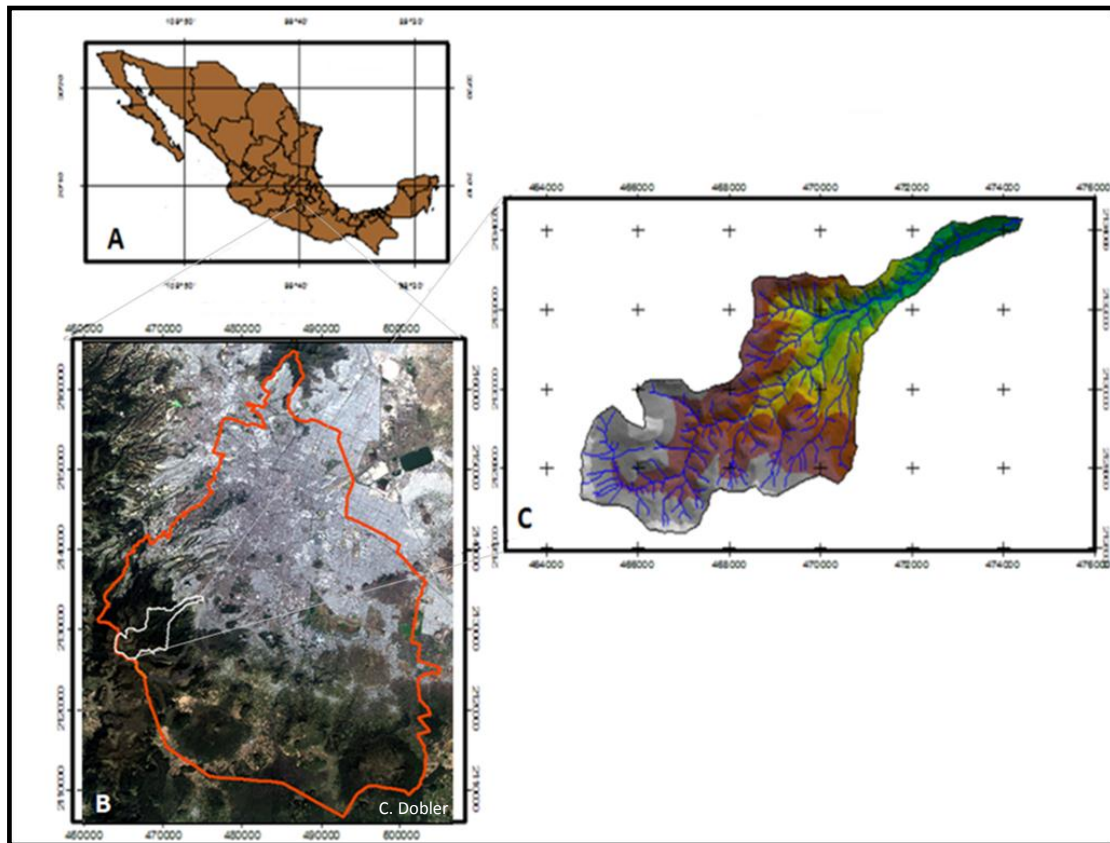


Figura 3. Localización de la cuenca del río Magdalena (CRM), D.F.

a) México b) Distrito Federal c) Cuenca del río Magdalena

Fuente: Laboratorio Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias, UNAM, 2012

En la CRM se han consignado hasta el momento 87 familias, 251 géneros y 487 especies de plantas vasculares y no vasculares. Por lo tanto, presenta 25% de la fitodiversidad de la cuenca de México y 2.2% del total de la flora del país (Ávila-Akerberg *et al.*, 2008).

El núcleo agrario con mayor extensión en la CRM es la comunidad Magdalena Atlitic. Las principales actividades desarrolladas en la zona son la recreación, ganadería, agricultura, piscicultura y recolecta de hongos y leña (Ramos, 2008).

En cuanto a su situación jurídica, cuenta con un acuerdo del año 1932 donde se declara como zona protectora forestal los Bosques de la Cañada de Contreras en la que se establece una superficie de 3100 ha; sin embargo, en 1947 mediante un decreto presidencial se declaró como zona de protección forestal del río Magdalena a una faja de 12 km de largo y 1000 m de ancho (1200 ha). Finalmente el Programa General de Ordenamiento Ecológico del D.F., publicado en el año 2000 (GDF, 2000), contradice ambas declaratorias y menciona como área natural protegida con categoría de zona protectora forestal a una superficie de 215 ha, que va desde el cuarto dinamo hasta el inicio de la mancha urbana. Además de los diversos estatus, el ANP del río Magdalena presenta un traslape con una presunta propiedad privada de 11.8 ha. Debido a esta situación y a que existe una indefinición legal ha resultado confusa la administración y regulación de la zona (Fernández *et al.*, 2002; Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

2.2 Bosque de *Pinus hartwegii* Lindl.

El bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. de la CRM abarca 1018 ha, es monoespecífico, ya que 80% de los individuos del estrato arbóreo son de esta especie. Se distribuye en las partes más altas de la zona de estudio, en altitudes de los 3300 a los 3870 msnm, concentrándose en la zona SW de la CRM y en pequeñas áreas hacia sus límites N, NW y SE. En algunos sitios de este bosque existen pendientes de hasta 65%, siendo las más comunes menores al 15%. Se divide en tres comunidades, de acuerdo a su cobertura vegetal (Figura 4) (Ávila-Akerberg, 2004; Espinoza, 2005; Ávila-Akerberg, 2010):

- *P. hartwegii*: cobertura de *P. hartwegii* mayor a 66% (cerrada), alcanza una elevación por arriba de los 3300 msnm y llega a los 3870 msnm; abarca 676 ha. La altura y diámetro promedio de los pinos en esta comunidad es de 8.6 m y 19.8 cm, respectivamente.

- *P. hartwegii*-pastizal: cobertura de *P. hartwegii* entre el 66 y 33% (semiabierto); se distribuye de los 3300 a los 3800 msnm y ocupa 152 ha. La altura y diámetro promedio de los pinos en esta comunidad es de 7.3 m y 16.8 cm, respectivamente.
- Pastizal-*P. hartwegii*: cobertura de *P. hartwegii* menor a 33% (abierto); va de los 3425 a los 3750 msnm y comprende 190 ha. La altura y diámetro promedio de los pinos en esta comunidad es de 6.3 m y 14.7 cm, respectivamente.

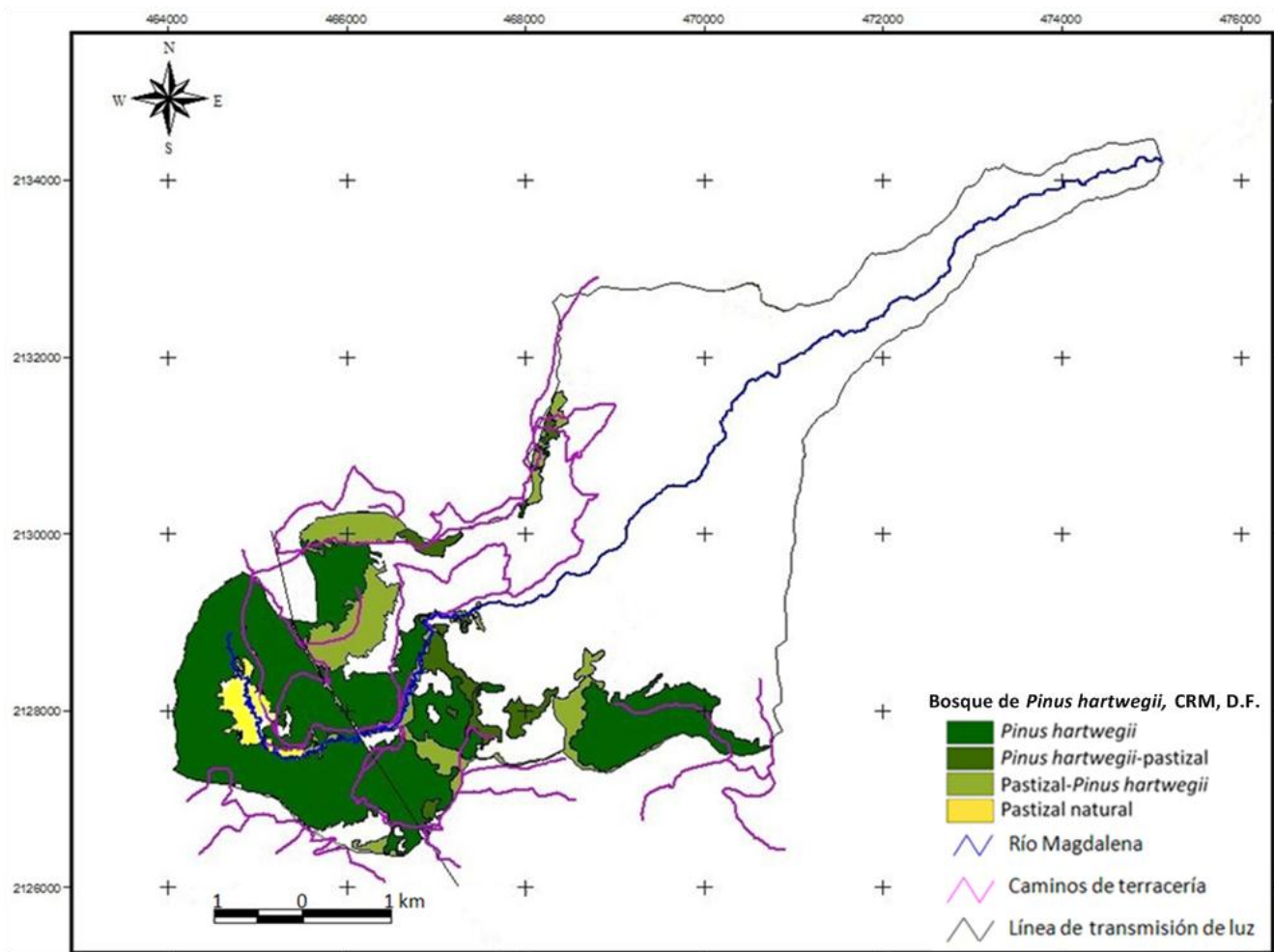


Figura 4. Bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca del río Magdalena, D.F.

Fuente: Ávila-Akerberg, V. y Laboratorio Ecosistemas de Montaña, Facultad de Ciencias, UNAM, 2012

2.3 Usos del muérdago enano en la CRM

A. vaginatum subsp. *vaginatum* es una de las plantas más conocidas, usadas y valoradas por la comunidad Magdalena Atlitica para tratar infecciones respiratorias. El cocimiento de sus tallos se consume de forma oral. No se registró uso alguno en la zona de *A. globosum* subsp. *grandicaule* (Hernández-Sánchez, 2009).

2.4 Interacciones de la fauna de la CRM con el muérdago enano

Existen tres interacciones entre la fauna y el muérdago enano claramente identificadas (Shaw *et al.*, 2004):

- *Fauna que actúa como vector de semillas*

Además del mecanismo explosivo de dispersión de la semilla, vectores animales también actúan como dispersores del muérdago enano, ya que las semillas se adhieren fácilmente a las plumas de las aves o a la piel de mamíferos. Diecisiete especies de aves han sido identificadas como vectores de semillas de muérdago enano (Shaw *et al.*, 2004), diez de ellas han sido registradas en la cuenca del río Magdalena (Delgado, 2011): *Aegolius arcadicus*, *Catharus guttatus*, *Catharus ustulatus*, *Certhia americana*, *Cyanocitta stelleri*, *Dendroica coronata*, *Dendroica petechia*, *Loxia curvirostra*, *Sitta pygmaea* y *Turdus migratorius*.

- *Fauna que acostumbra anidar en las escobas de bruja*

Se han registrado veinte especies de aves que acostumbran hacer sus nidos en las escobas de brujas de los pinos asociadas a la infección por muérdago enano (Shaw *et al.*, 2004), ocho de ellas han sido observadas en la cuenca del río Magdalena (Delgado, 2011): *Accipiter striatus*, *Bubo virginianus*, *Catharus guttatus*, *Corvus corax*, *Spizella passerina*, *Troglodytes aedon*, *Turdus migratorius* y *Zenaida macroura*.

- *Fauna que se alimenta del muérdago enano*

En catorce especies de aves se ha reportado el uso de muérdago enano como fuente de alimento (Shaw *et al.*, 2004); seis de ellas han sido registradas en la cuenca del río Magdalena (Delgado, 2011): *Coccothraustes vespertinus*, *Passer domesticus*, *Pheucticus melanocephalus*, *Sialia mexicana*, *Turdus migratorius* y *Zenaida macroura*. En cuanto a mamíferos, tres especies de la familia Cervidae presentan esta interacción (Shaw *et al.*, 2004), solo una de ellas está

registrada en la cuenca del río Magdalena (Gómez, 2009): *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca).

2.5 Antecedentes en la zona de estudio

Desde 2008 la CRM cuenta con el “*Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca de la cuenca del río Magdalena D.F.*” (SMA-GDF-UNAM, 2008) realizado por diversas entidades de la UNAM para el gobierno del D.F. Dicho documento está dividido en cinco estrategias, una de ellas habla sobre “Manejo ecosistémico y desarrollo local sustentable”, que a su vez está dividida en varias líneas de acción. Dentro de la línea “Manejo forestal sustentable”, cuyo objetivo es “el establecimiento de un manejo sustentable de los recursos forestales a través del mantenimiento de la cobertura vegetal, para garantizar la generación de servicios ecosistémicos a largo plazo”, se plantea como una de las metas el mantenimiento e incremento de la calidad forestal a través del saneamiento de los bosques de *Pinus hartwegii* plagados de muérdago enano (SMA-GDF-UNAM, 2008). Sin embargo, no se menciona en qué sitios del bosque es necesario el saneamiento ni se proporciona ninguna recomendación para llevarlo a cabo.

Un estudio que le dio continuidad al plan de manejo fue el “*Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*” (PUMA, 2009). Constó de una serie de indicadores para la toma de decisiones y evaluación de la gestión socioterritorial, ambiental y la instrumentación de políticas públicas. Dentro de este sistema se generó el indicador “*Sitios afectados por plagas forestales y especies exóticas que recibieron tratamiento*”, el cual señala el esfuerzo realizado en materia de salud forestal. Sin embargo, se menciona que para implementarlo es necesario generar un mapa base con la ubicación de polígonos de zonas plagadas (PUMA, 2009).

III. JUSTIFICACIÓN

Hasta el momento en la CRM no existen trabajos que involucren el estudio de plantas parásitas; por ello resulta fundamental identificar áreas plagadas y generar información con el fin de conocer qué tan afectado está el bosque de *P. hartwegii*, para así, contar con un programa de manejo en el futuro.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

- Conocer la distribución y el nivel de infestación de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* y *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* en el bosque de *Pinus hartwegii*, de la cuenca del río Magdalena, D.F.

Objetivos particulares

- Conocer la distribución actual y superficie que abarca el muérdago enano.
- Modelar la probabilidad de ocurrencia de muérdago enano como función de distintas variables.
- Conocer la distribución potencial del muérdago enano en el bosque de *P. hartwegii*.
- Evaluar el nivel de infestación de muérdago enano mediante el sistema de seis clases de Hawksworth (1977).
- Modelar la probabilidad de incidencia de muérdago enano y la probabilidad de ocurrencia de los distintos niveles de infestación como función de distintas variables.

V. HIPÓTESIS

La ocurrencia de muérdago enano es más probable en zonas donde la cobertura de *P. hartwegii* es baja, ya que son sitios con mayor fragmentación y con mayor incidencia de luz solar, condiciones favorables para la presencia de plantas hemiparásitas.

La ocurrencia de árboles infectados aumenta en sitios donde la cobertura de *P. hartwegii* es alta debido a que la cercanía entre árboles propicia el contagio.

El nivel de infestación es más intenso en árboles adultos, ya que son los que llevan más tiempo de exposición a la plaga.

VI. MÉTODO

6.1 Fase de campo

Identificación de áreas con muérdago enano

Para identificar las áreas plagadas se hicieron recorridos a pie dentro del bosque de *P. hartwegii* de la CRM de agosto de 2010 a octubre de 2011, durante los cuales en 464 sitios se registraron los datos siguientes: presencia-ausencia de muérdago enano, especie de muérdago enano, localización geográfica (con GPS en coordenadas UTM datum NAD27), pendiente (con clinómetro en grados), orientación (con brújula en grados), altitud (con GPS en msnm), distancia a camino más cercano (con cinta en metros) y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*.

Tipo de muestreo

En áreas donde la observación directa en campo permitió reconocer la existencia de muérdago enano se realizó un muestreo dirigido, que consistió en 70 parcelas circulares. El tamaño de las parcelas fue de 0.1 ha (radio de 17.84 m). Los datos registrados fueron: nivel de infestación de cada individuo de *P. hartwegii*, diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros y altura de los pinos en metros, número de árboles muertos en pie y tocones, localización geográfica, altitud, pendiente, orientación, distancia al camino más cercano y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*.

Evaluación del nivel de infestación

Para valorar la severidad de la infección de los individuos de *P. hartwegii* se utilizó el sistema de evaluación de 6 clases de Hawksworth (1977), el cual consiste en dividir la copa en tres secciones, dando valor a cada una según el número de plantas de muérdago enano en las ramas: 0 (infestación no visible), 1 (la mitad o menos de la mitad de las ramas infestadas) y 2 (más de la mitad del total de ramas infestadas). Posteriormente se suman los valores de las tres secciones para obtener la calificación del árbol. Cuando el árbol solo manifestó infección en el tronco se calificó con 1 (Vázquez *et al.*, 2006), ya que aunque las infecciones en el tronco son un

problema permanente, por lo general los árboles se conservan vivos. Además, estas infecciones son fuente de inóculo menos eficaces que las infecciones en ramas (Robinson y Geils, 2006).

Una vez evaluados cada uno de los árboles infectados se obtuvo el nivel de infestación por parcela de muestreo, calculando la moda estadística en Microsoft Excel 2007. Se utilizó la moda debido a que el nivel de infestación se trata de una escala ordinal (Cervantes *et al.*, 2006).

6.2 Fase de gabinete

Generación de mapas de puntos y polígonos

Los puntos tomados en campo se vaciaron en el sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2 (ESRI 1998), para generar dos mapas de puntos, uno de la distribución actual de muérdago enano y otro de las parcelas de muestreo y su nivel de infestación.

En el mismo SIG se realizó una interpolación a partir de la construcción de polígonos de Thiessen, alrededor de los sitios de presencia y ausencia de muérdago enano, como una simple aproximación para conocer el área infestada. Los polígonos de Thiessen son áreas individuales de influencia a cada elemento puntual de manera que los límites de cada polígono son equidistantes a los puntos vecinos. Los polígonos son una construcción teórica que no toma en cuenta factores como el relieve, los cuales la mayoría de las veces influyen en la delimitación de un territorio (Fortin y Thomas, 2005). Los polígonos se clasificaron como infestados y no infestados. El área total infestada se calculó sumando el área de los polígonos infestados resultantes.

Análisis estadístico

Se modelaron distintas probabilidades (P) de ocurrencia mediante una regresión logística, la cual es un modelo matemático que describe la relación entre diversas variables independientes (cuantitativas o categóricas) y una variable de respuesta binaria (variable dependiente dicotómica) que puede ser un vector: “éxitos-fracasos”, o una matriz con dos columnas donde la primera columna muestra el número de “éxitos” y la segunda el número de “fracasos” (Crawley, 2007). El modelo logístico se expresa formalmente como:

$$\text{Logit}(P) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

ó

$$P = \frac{e^{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}}{1 + e^{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}}$$

Donde: X_1, X_2, \dots, X_n = variables independientes

b_1, b_2, \dots, b_n = sus respectivos coeficientes, los cuales indican cuánto pesa cada variable en el aumento o disminución de la probabilidad del evento, con prescindencia de las otras (Rodríguez-Estrella y Sánchez-Colón, 2004; Manzo-Delgado *et al.*, 2009).

Con los datos registrados en los sitios se buscó conocer:

- La probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule*. La variable dependiente fue presencia-ausencia, la cual se trata de un vector. Se codificó a los fracasos (las ausencias) como “0” y a los éxitos (las presencias) como “1”. El método utilizado para construir el modelo predictivo fue “hacia atrás”. Las variables independientes cuantitativas consideradas fueron: altitud, pendiente, distancia al camino más cercano y orientación. La única variable independiente categórica fue el tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*, codificada de forma binaria como: “comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal” y “comunidad *P. hartwegii*”. El análisis de regresión logística se realizó en el programa estadístico SPSS 17. Para conocer la proporción de la variabilidad en la respuesta, que es explicada por el modelo obtenido, se utilizó la R^2 de Cox y Snell y la R^2 de Nagelkerke. Para evaluar la bondad de ajuste del modelo se realizó la prueba de la χ^2 de Hosmer-Lemeshow. Cuando la prueba no es significativa ($\alpha \geq 0.05$), el modelo puede considerarse aceptable (Hosmer y Lemeshow, 2000).

Con los datos registrados en las parcelas de muestreo se buscó conocer:

- Cuáles eran las variables relacionadas con el porcentaje de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule*. Sin embargo, debido a que este tipo de variable dependiente no cumple con los supuestos de normalidad y homocedasticidad por tener una distribución estrechamente relacionada con la distribución binomial (Crawley, 2007), el análisis más adecuado, fue una regresión logística. Así, la variable dependiente se trata de una matriz con dos columnas: la primera columna reúne al número de árboles infectados (número de éxitos) y la segunda columna al número de árboles sanos (número de fracasos).

Las variables independientes consideradas fueron las que presentaron relación significativa ($P < 0.1$) con la variable dependiente, a través de un análisis previo de regresión logística univariado: altura y DAP de los árboles, número de tocones, número de árboles muertos en pie y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii* (categórica). El análisis se realizó en el programa estadístico R 2.14.0, el método utilizado para construir el modelo predictivo fue “hacia atrás” criterio AIC. Debido a que el análisis se hizo en el programa R 2.14.0 y no ofrece las mismas opciones que el programa estadístico SPSS 17, la proporción de la variabilidad de la variable dependiente, que es explicada por el modelo, se calculó de la manera siguiente: devianza nula – devianza residual/devianza nula. La devianza es una medida del grado de diferencia entre las frecuencias observadas y predichas por el modelo de la variable dependiente. Para la prueba de bondad de ajuste se hizo un análisis de la devianza, en el cual se calcula la diferencia entre la devianza residual y la devianza nula, este estadístico sigue una distribución χ^2 con p grados de libertad, si alcanza significación estadística ($\alpha = 0.05$) indica buen ajuste (Crawley, 2007).

- Conocer la probabilidad de ocurrencia de las clases de infestación. Para esto se realizó un análisis de regresión logística en el programa SPSS 17; el método utilizado para construir el modelo predictivo fue “hacia atrás”. Las pruebas de bondad de ajuste fueron las ya descritas mismas que ofrece el programa SPSS 17. Las variables independientes consideradas fueron las que presentaron relación significativa ($P < 0.1$) con la variable dependiente a través de un análisis previo de regresión logística univariado: altura y DAP de los árboles, número de árboles

infectados, número de tocones, número de árboles muertos en pie y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*.

Análisis espacial: modelo de regresión logística ligado a un SIG

El modelo de probabilidad de ocurrencia, que incluyó variables aplicables en un SIG, se representó espacialmente mediante la aplicación de la ecuación a las capas de datos tipo raster de las variables independientes en el programa Quantum GIS (QGIS) 1.7.1, para obtener un mapa de distribución potencial (Rodríguez-Estrella y Bojórquez, 2004; Rodríguez-Estrella y Sánchez-Colón, 2004).

VII. RESULTADOS

7.1 Distribución y superficie infestada por muérdago enano

En 221 sitios se observó *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y en 243 sitios no (incluyen los sitios donde se identificó *A. globosum* subsp. *grandicaule*). En 20 sitios se detectó *A. globosum* subsp. *grandicaule* y en 444 sitios no (incluyen los sitios donde se observó *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*) (Figura 5). Se reconocieron dos zonas con *A. globosum* subsp. *grandicaule* (Figura 5, polígonos anaranjados). En todas las demás zonas infectadas la especie presente es *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. No se encontraron sitios donde coexistan ambas especies; sin embargo, las dos zonas con *A. globosum* subsp. *grandicaule* están separadas por una zona con *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. En los tres tipos de comunidad de pino se encontró a esta última especie, mientras que *A. globosum* subsp. *grandicaule* solo en dos (“*P. hartwegii*” y “Pastizal-*P. hartwegii*”). En ninguno de los sitios se encontró alguna otra plaga.

La distribución actual y superficie infestada por muérdago enano se muestra en el mapa de interpolación (polígonos de Thiessen) (Figura 6). Corresponde a 353.5 ha, de las cuales *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* abarca 319.6 ha y *A. globosum* subsp. *grandicaule* 33.9 ha; por lo tanto, 35% del bosque está afectado por muérdago enano.

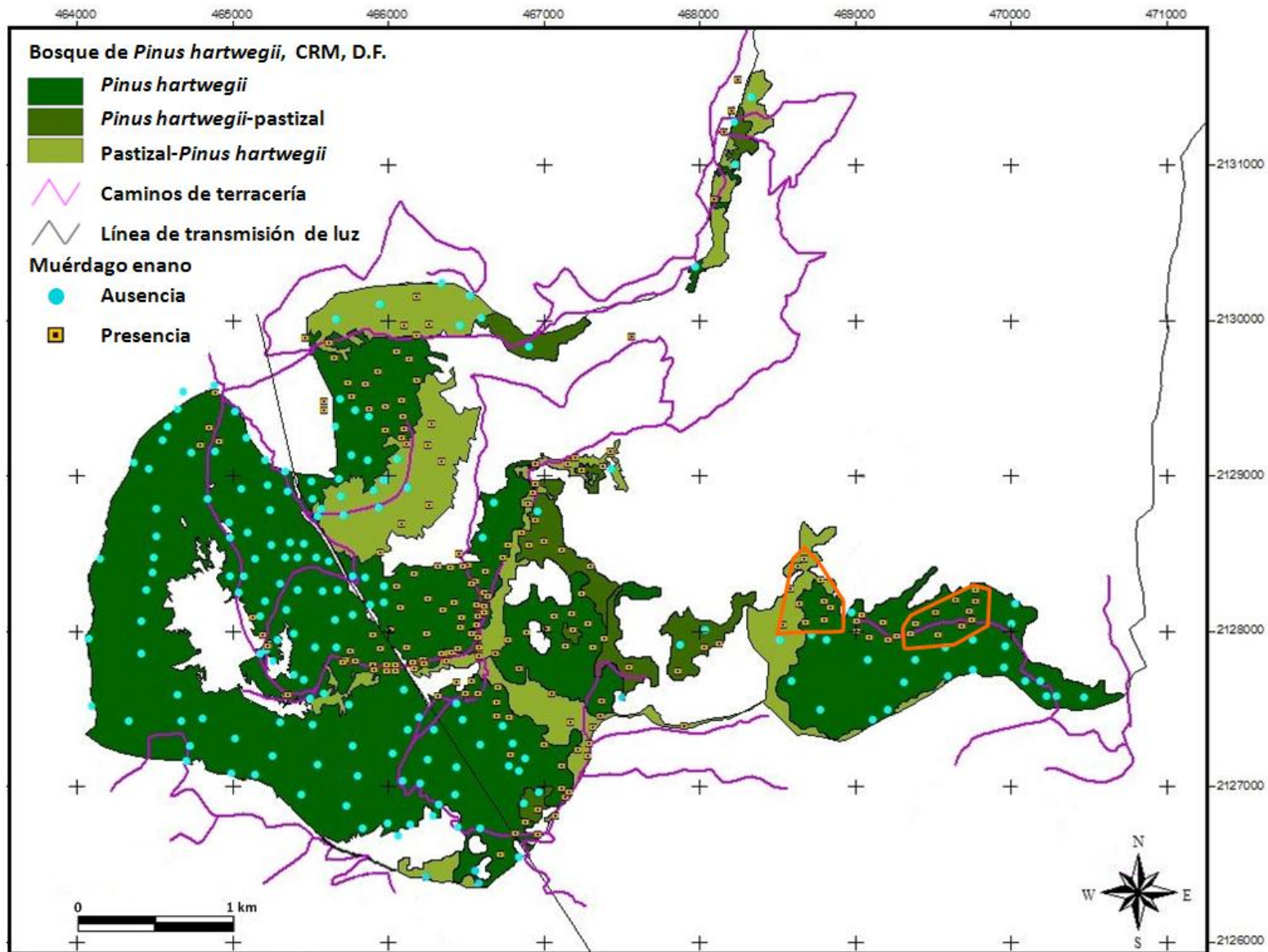


Figura 5. Presencia/ausencia de muérdago enano en la cuenca del río Magdalena, D.F.
 Los polígonos anaranjados enmarcan los sitios en los que se observó *A. globosum* subsp. *grandicaule*.

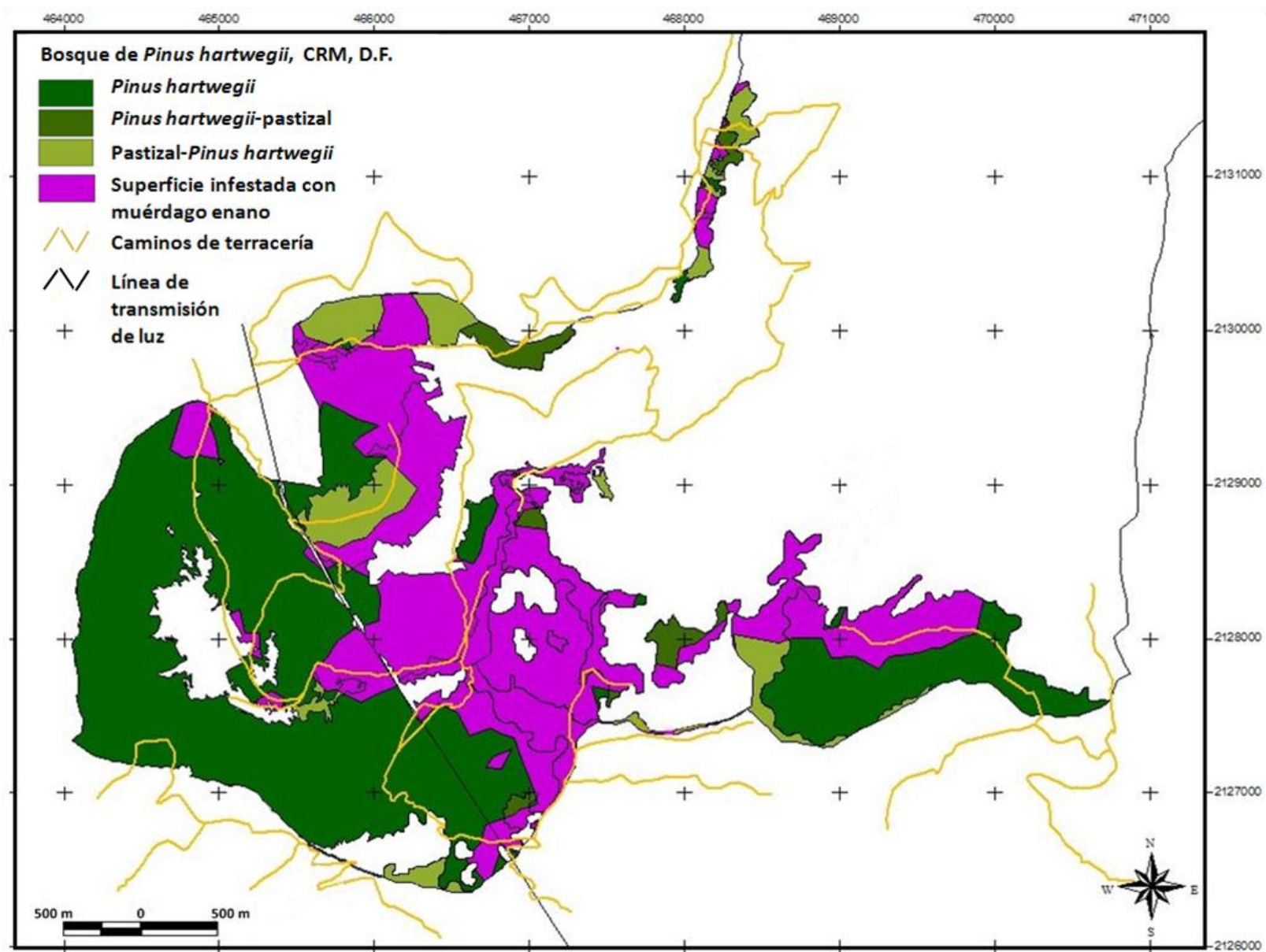


Figura 6. Superficie infestada por muérdago enano (353.5 ha) en la cuenca del río Magdalena, D.F.

7.2 Probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*

La presencia de este muérdago enano está relacionada positiva y significativamente con la pendiente, y negativa y significativamente con la altitud, la distancia al camino más cercano y la comunidad *P. hartwegii*. La orientación fue la única variable que no presentó relación significativa con la variable dependiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.

VARIABLES EN LA ECUACIÓN	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	SIGNIFICANCIA
Altitud	-0.005	0.001	0.000***
Pendiente	0.037	0.013	0.005**
Distancia [‘]	-0.011	0.001	0.000***
Comunidad [“]	0.0	0.0	-
Comunidad ^{““}	-0.599	0.259	0.021*
Constante	18.056	4.324	0.000***

[‘] Distancia al camino más cercano

[“] Comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal

^{““} Comunidad *P. hartwegii*

*P<0.05 ** P<0.01 ***P<0.001

La proporción de la variabilidad de la presencia-ausencia de esta especie (variable dependiente), que es explicada por el modelo obtenido, es de 31.5% según la R^2 de Cox y Snell y de un 42% según la R^2 de Nagelkerke. Es decir, un poco más de la mitad del porcentaje de influencia sobre la probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* no depende de las variables analizadas. La prueba de la χ^2 de Hosmer-Lemeshow no es significativa (significancia de 0.277), por lo tanto el modelo predictivo puede considerarse aceptable:

- Probabilidad de ocurrencia en la comunidad *P. hartwegii*

$$\text{Logit}(P) = 17.457 - 0.005 * \text{altitud} + 0.037 * \text{pendiente} - 0.011 * \text{distancia al camino más cercano}$$

- Probabilidad de ocurrencia en la comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal

$$\text{Logit}(P) = 18.056 - 0.005 * \text{altitud} + 0.037 * \text{pendiente} - 0.011 * \text{distancia al camino más cercano}$$

Así, la presencia del *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* está influida por dos variables topográficas (altitud y pendiente), por una variable ambiental (comunidad *P. hartwegii*) y por una variable antrópica (distancia al camino más cercano). La probabilidad de ocurrencia de esta especie disminuye en la comunidad *P. hartwegii*, y aumenta a menor altitud, a menor distancia al camino más próximo y a mayor inclinación del terreno.

7.3 Probabilidad de ocurrencia de *A. globosum* subsp. *grandicaule*

La presencia de esta hemiparásita está influida negativa y significativamente solo por la distancia al camino más cercano (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.

Variables en la ecuación	Coefficiente	Error estándar	Significancia
Distancia [†]	-0.007	0.002	0.004**
Constante	-2.086	0.263	0.000***

[†] Distancia al camino más cercano

** P<0.01 ***P<0.001

El porcentaje de la variabilidad de la presencia-ausencia de esta especie, explicada por el modelo obtenido es de 2.5% según la R² de Cox y Snell y de un 7.1% según la R² de Nagelkerke. Ambas son bajas; sin embargo, la prueba de la χ^2 de Hosmer-Lemeshow no es significativa (significancia de 0.249), por lo que el modelo predictivo puede considerarse aceptable:

$$\text{Logit}(P) = -2.086 - 0.007 * \text{distancia al camino más cercano}$$

7.4 Distribución potencial de muérdago enano

El mapa de distribución potencial de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* en las comunidades pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal se muestra en la Figura 7 y el mapa de su distribución potencial en la comunidad *P. hartwegii* se observa en la Figura 8. El mapa de distribución potencial de *A. globosum* subsp. *grandicaule* no se pudo obtener debido a que los coeficientes resultantes en el modelo predictivo son tan bajos que no se pudieron registrar en un mapa.

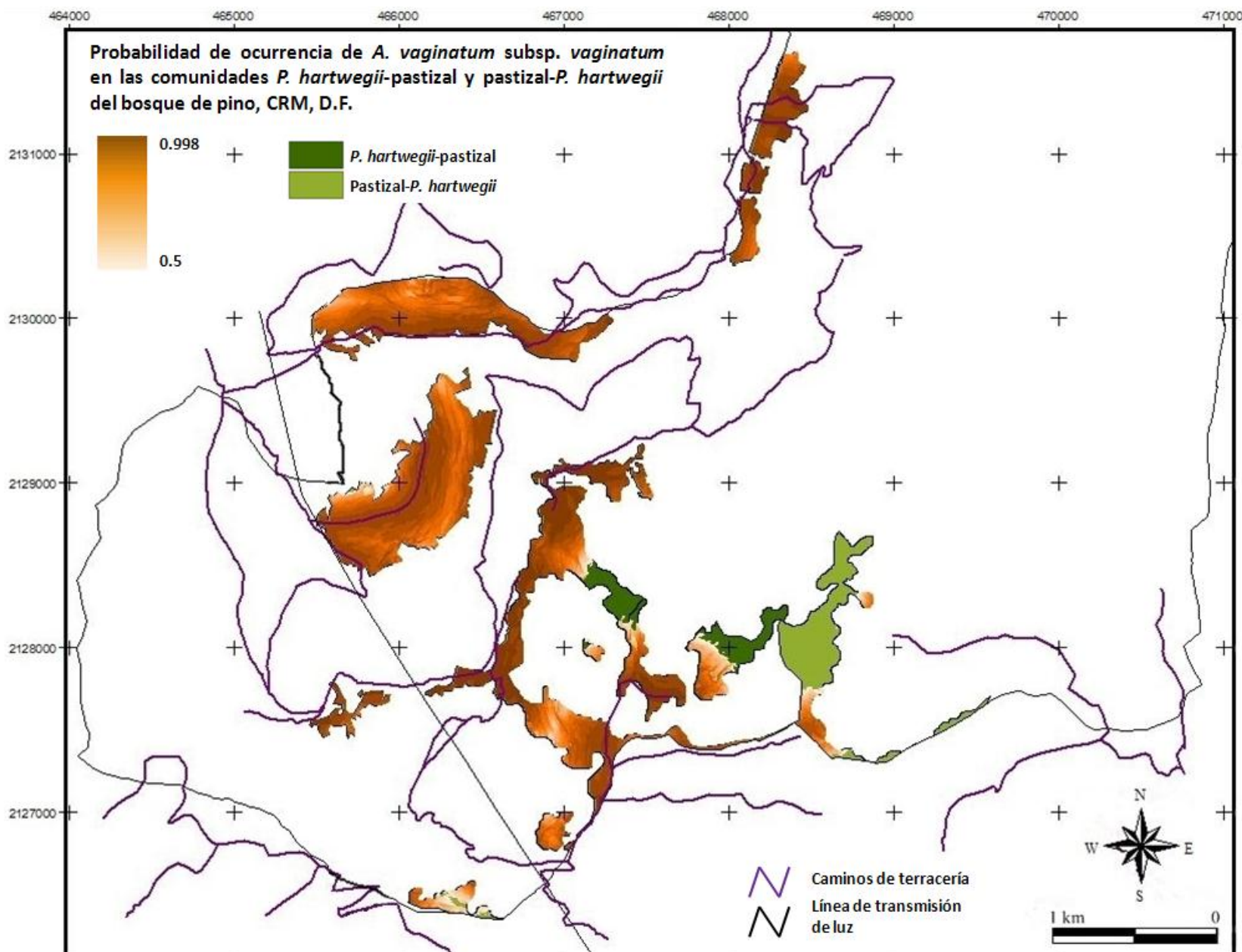


Figura 7. Distribución potencial de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* en las comunidades pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal del bosque de pino de la cuenca del río Magdalena, D.F.

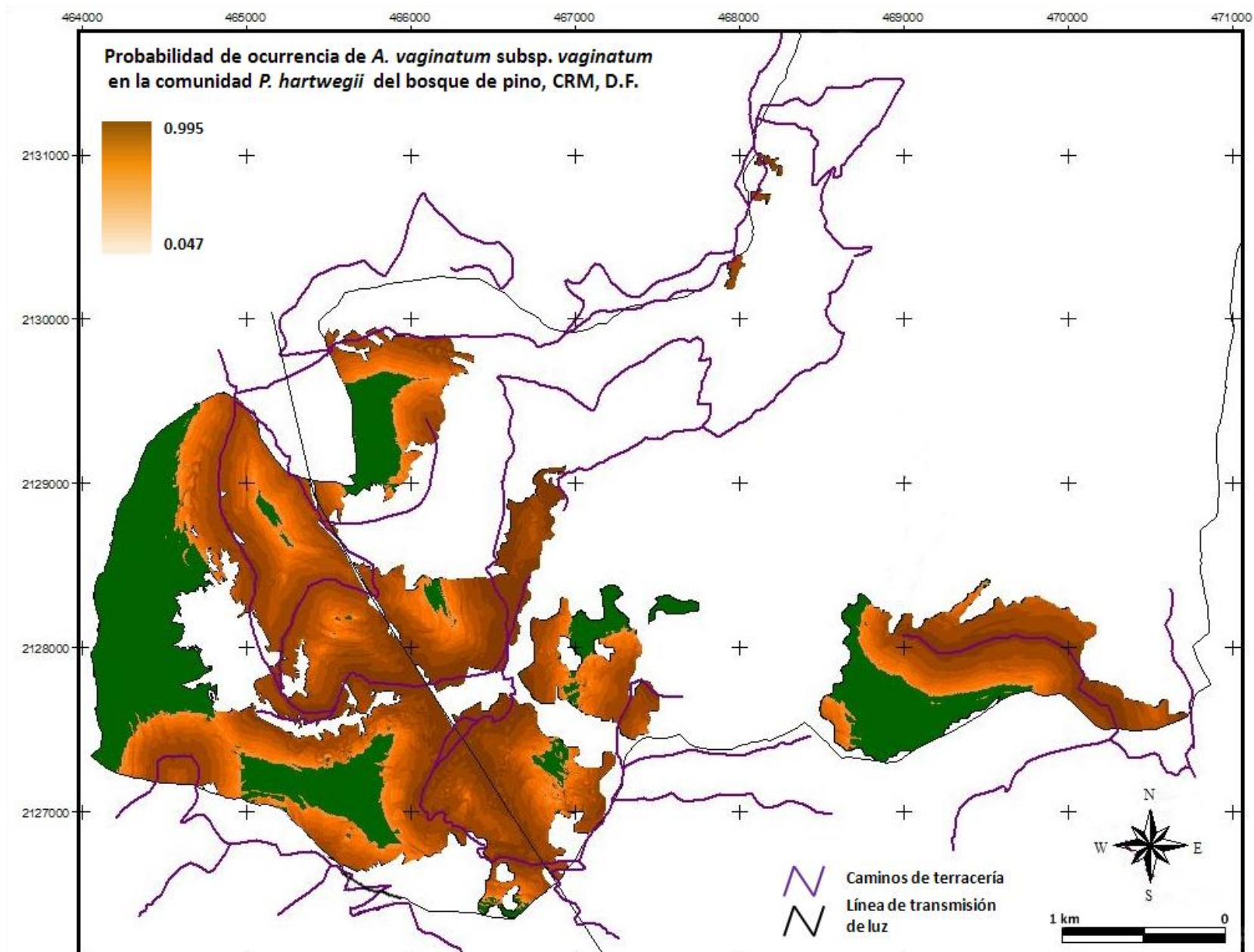


Figura 8. Distribución potencial de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* en la comunidad *P. hartwegii* del bosque de pino de la cuenca del río Magdalena, D.F.

7.5 Porcentaje de árboles infectados por muérdago enano

Del total de árboles de *P. hartwegii* censados dentro de los muestreos (4148 pinos), el 72% (2982 pinos) está infectado por muérdago enano. Todas las categorías de diámetro y altura fueron susceptibles a la infección. Más de la mitad de los individuos infectados (63.3%) son menores a 6 metros de altura y tienen DAP menores a 25 cm (89.8%) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de individuos de *P. hartwegii* infectados según su clase diamétrica y altimétrica.

Clase diamétrica en cm	% de individuos de <i>P. hartwegii</i> infectados	Clase altimétrica en m	% de individuos de <i>P. hartwegii</i> infectados
2-4.9	25.7	0-1.9	19.1
5-14.9	40.2	2-3.9	22.4
15-24.9	23.9	4-5.9	21.8
25-34.9	8.2	6-7.9	17.6
35-44.9	1.8	8-9.9	10.6
Igual o mayor a 45	0.2	Igual o mayor a 10	8.5

Del total de árboles de *P. hartwegii* infectados, 79% (2355 pinos) presentó *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y 21% (627 pinos) *A. globosum* subsp. *grandicaule*.

7.6 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*

La probabilidad de aparición de nuevos casos de infección por este muérdago enano, está relacionada positiva y significativamente con el número de árboles muertos en pie y la comunidad *P. hartwegii*, y negativa y significativamente con el DAP (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.

VARIABLES EN LA ECUACIÓN	COEFICIENTE	ERROR ESTÁNDAR	SIGNIFICANCIA
DAP	-0.06758	0.02331	0.0466*
Árboles muertos	0.04466	0.01049	0.0000***
Comunidad ¹	0.0	0.0	-
Comunidad ²	0.73506	0.09014	0.0000***
Constante	1.12181	0.20868	0.0000***
Devianza nula	809.9		
Grados de libertad	58		
Devianza residual	628.7		
Grados de libertad	55		

¹ Comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal

² Comunidad *P. hartwegii*

*P<0.05 ***P<0.001

La altura de los individuos de pino y el número de tocones no tuvieron relación significativa ($P>0.05$) con la variable dependiente. El porcentaje de la variabilidad de probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por esta especie, que es explicada por el modelo obtenido, es de un 22.3%. El análisis de devianza muestra significancia estadística ($181.2>7.815(3gl, 0.05)$), por lo tanto el modelo predictivo es aceptable:

- Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados en la comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal
 $\text{Logit}(P)=1.12181-0.06758*\text{DAP}+0.04466*\text{número de árboles muertos en pie}$
- Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados en la comunidad *P. hartwegii*
 $\text{Logit}(P)=1.85687-0.06758*\text{DAP}+0.04466*\text{número de árboles muertos en pie}$

7.7 Probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule*

La probabilidad de aparición de nuevos casos de infección por esta especie, se relaciona positiva y significativamente con el número de tocones, y negativa y significativamente con el DAP (Cuadro 5), la altura de los individuos de pino, el tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii* y el número de árboles muertos en pie no presentaron relación significativa ($P>0.05$) con la variable dependiente.

Cuadro 5. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.

Variables en la ecuación	Coficiente	Error estándar	Significancia
DAP	-0.17046	0.07603	0.01946*
Tocones	0.06973	0.03385	0.00265**
Constante	3.51837	0.87858	0.0000***
Devianza nula	110.1		
Grados de libertad	10		
Devianza residual	67.53		
Grados de libertad	8		

* $P<0.05$ ** $P<0.01$ *** $P<0.001$

El porcentaje de la variabilidad en la respuesta, que es explicada por este modelo es de 38.6%. El análisis de devianza muestra significancia estadística ($42.57 > 5.991(2gl, 0.05)$), por lo tanto el modelo predictivo puede considerarse aceptable:

$$\text{Logit}(P) = 3.51837 - 0.17046 * \text{DAP} + 0.06973 * \text{número de tocones}$$

7.8 Clases de infestación en el bosque de *P. hartwegii* de la CRM

A nivel de individuo se encontraron todas las clases de infestación. En el caso de la infección por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* se observa que las clases o niveles con mayor proporción de pinos infectados son el “uno”, “dos” y “tres” (Figura 9). En el caso de la infección por *A. globosum* subsp. *grandicaule* se observa que los niveles con mayor proporción de pinos infectados son el “uno”, “dos”, “cuatro” seguido muy de cerca por el “tres” y “cinco” (Figura 10).

La clase de infestación más repetida a nivel parcela donde se encontró *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* fue: “uno” (47 parcelas), seguido del “dos” (diez parcelas), “tres” (una parcela) y “cuatro” (una parcela). El nivel de infestación más frecuente en las parcelas donde se encontró *A. globosum* subsp. *grandicaule* fue: “uno” (ocho parcelas), seguido del “dos” (una parcela), “cuatro” (una parcela) y “cinco” (una parcela), ninguna parcela presentó nivel de infestación “seis” (Figura 11). La ubicación de las parcelas de muestro y su nivel de infestación se muestra en la Figura 12.

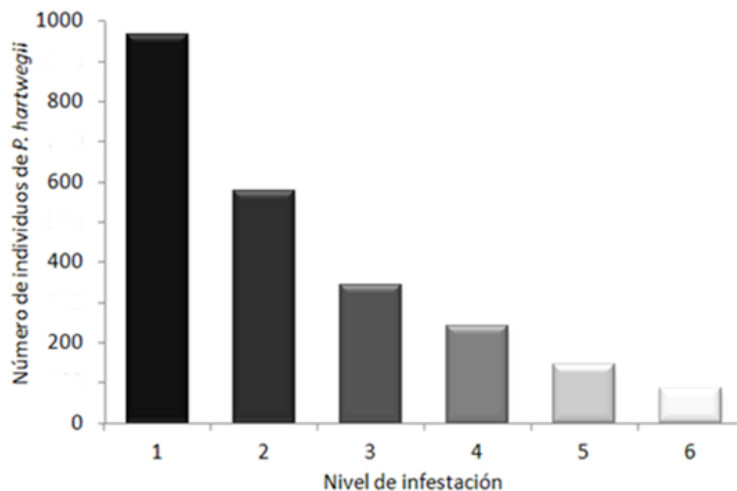


Figura 9. Total de individuos (2355) de *P. hartwegii* infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* distribuidos según su nivel de infestación.

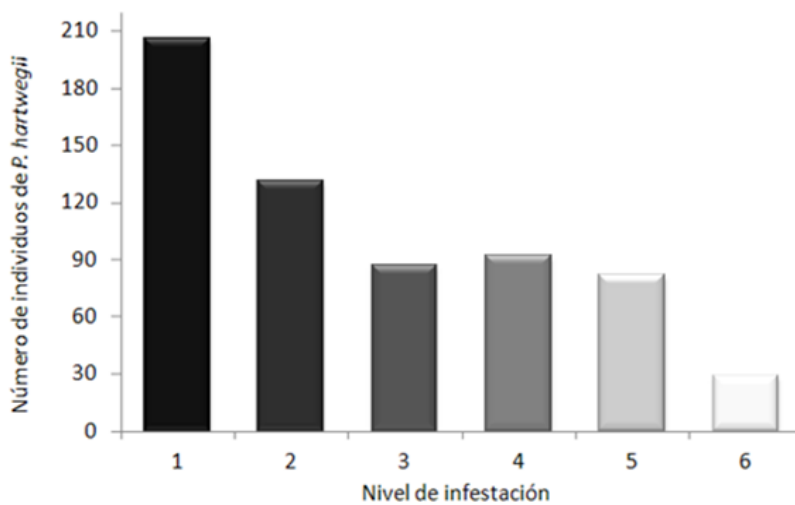


Figura 10. Total de individuos (627) de *P. hartwegii* infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule* distribuidos según su nivel de infestación.

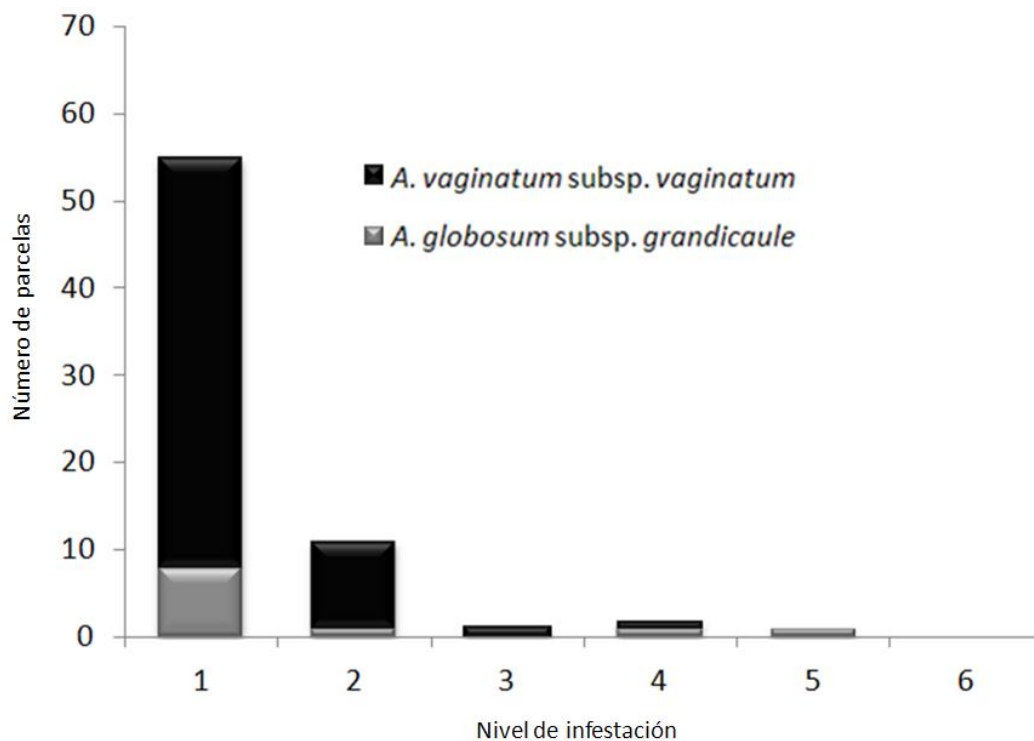


Figura 11. Nivel de infestación de las parcelas.

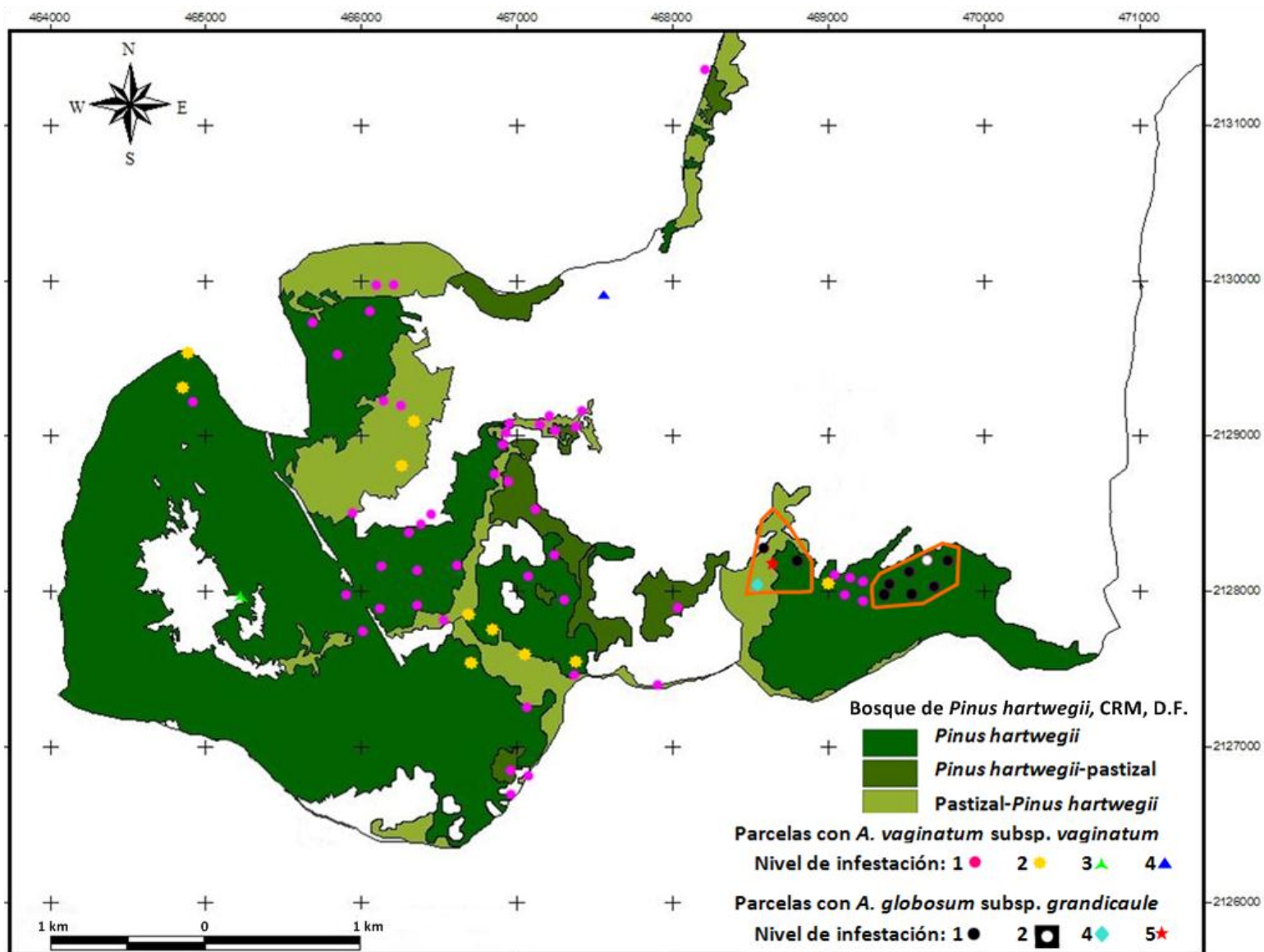


Figura 12. Ubicación de las parcelas y su nivel de infestación.
Los polígonos anaranjados enmarcan las parcelas en la que se encontró *A. globosum* subsp. *grandicaule*.

7.9 Probabilidad de ocurrencia de las clases de infestación

Para el análisis de regresión logística, se concentraron las clases de infestación en dos grupos de acuerdo a la Figura 11. El primer grupo fue nivel de infestación “dos”, “tres”, “cuatro” y “cinco” codificado como “0”. El segundo grupo solo incluye al nivel de infestación “uno” codificado como “1” debido a que fue el más frecuente.

La probabilidad de ocurrencia del nivel de infestación “uno” solo está relacionada negativa y significativamente con la altura de los árboles (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estimaciones de los parámetros del modelo de regresión logística.

Variables en la ecuación	Coefficiente	Error estándar	Significancia
Altura	-0.44	0.006	0.025*
Constante	3.962	1.411	0.005**

*P<0.05 **P<0.01

La proporción de la variabilidad de la variable dependiente, que es explicada por este modelo, es de un 7.4% según la R^2 de Cox y Snell y de un 11.7% según la R^2 de Nagelkerke, ambas son bajas; sin embargo, la prueba de la χ^2 de Hosmer-Lemeshow no es significativa (significancia de 0.316), por lo tanto el modelo predictivo puede considerarse aceptable:

$$\text{Logit}(P)=3.962-0.44*\text{altura de individuos de pino}$$

Así, la probabilidad de ocurrencia de las clases de infestación no está relacionada con las variables ambientales ni de perturbación consideradas en este estudio (DAP, número de árboles infectados, número de tocones, número de árboles muertos en pie y tipo de comunidad según la cobertura de *P. hartwegii*).

VIII. DISCUSIÓN

En el bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM, cerca del 90% de los árboles, presentan diámetros a la altura del pecho menores a 25 cm, lo que sugiere que el bosque de pino se encuentra en etapas sucesionales secundarias en las que domina la presencia de individuos jóvenes con diámetros pequeños (Ferreyra, 2010). Este escenario, probablemente sea el resultado de la perturbación que sufrió el bosque debido a la tala inmoderada, impulsada por la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre en el período de 1947 a 1982 (Carabias, 1976; Ferreyra, 2010). Por lo tanto, es importante resaltar que el bosque de pino de la CRM, posiblemente se trate de una zona altamente perturbada en el pasado. Incluso, el que actualmente se distingan tres tipos de comunidad dentro del bosque podría ser consecuencia de dicha perturbación.

La especie *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* ocupa en el bosque de *P. hartwegii* de la CRM la mayor superficie, así también, es mayor el porcentaje de árboles infectados por esta planta hemiparásita. Este patrón coincide con el mencionado por Queijeiro (2007) en el Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México. El escenario descrito podría sugerir dos hipótesis, una es que *A. globosum* subsp. *grandicaule* es la especie que ha colonizado recientemente el bosque de *P. hartwegii* de la CRM, y por lo tanto, presenta una distribución mucho más limitada que la otra especie. La segunda hipótesis es que *A. globosum* subsp. *grandicaule* lleva el mismo o más tiempo que *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* en el bosque de la CRM, pero no ha tenido tanto éxito en su dispersión. Debido a que no se cuenta con datos históricos hasta el momento sobre el muérdago enano en la CRM, esto se discutirá más adelante con base en los resultados obtenidos.

La relación entre las variables independientes y las distintas probabilidades de ocurrencia analizadas a partir del modelo predictivo de regresión logística, se resume en la Figura 13.

La correlación entre la probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y las variables topográficas (altitud y pendiente) coincide con la encontrada en estudios que analizan las variables relacionadas con el porcentaje de árboles infectados (incidencia) de muérdago enano. Gottfried y Embry (1977) citado por Hawksworth y Weins (1996) mencionan que en el Este de Arizona, la incidencia de *A. vaginatum* subsp. *cryptopodum* fue mayor en altitudes inferiores a 2,650 msnm, moderada entre 2,650 a 2,750 msnm y menor en altitudes superiores

a 2,750 msnm. Es decir, la altitud presentó una relación negativa con el porcentaje de árboles infectados. En cuanto a la pendiente observaron que es muy bajo en laderas con pendiente suave, media en pendientes moderadas y alta en pendientes fuertes. Queijeiro (2007) en el Estado de México encontró que la altitud tiene una relación negativa y la pendiente una relación positiva con el porcentaje de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. No se encontraron estudios que analicen las variables que influyen en la ocurrencia de alguna de estas dos especies de muérdago enano.

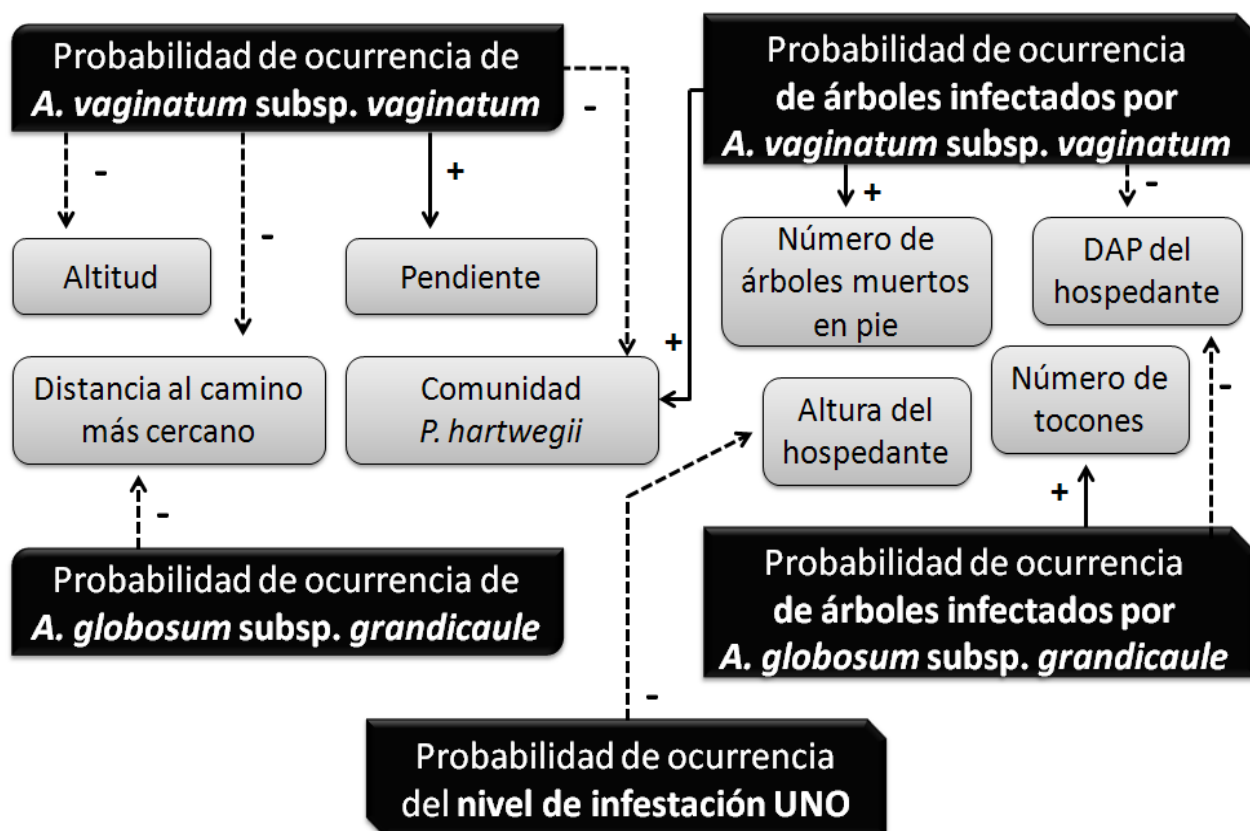


Figura 13. Esquema que sintetiza las relaciones entre las variables independientes y las distintas probabilidades de ocurrencia analizadas con el modelo de regresión logística.

En la CRM, *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* se distribuye de los 3316 a los 3757 msnm, tan solo 16 msnm de la distribución inicial del bosque de pino y 113 msnm antes de su límite superior en la zona. Como se observa en la Figura 13, la probabilidad de ocurrencia aumenta conforme la altitud disminuye, por lo tanto, es probable que esta especie no soporte temperaturas tan bajas; también, una posible influencia en su relación negativa pueda ser el hecho de que la presencia de caminos de terracería disminuye conforme aumenta la altitud. La misma especie de muérdago enano se observó en sitios con pendientes de 0 a 64 grados. El que su probabilidad de ocurrencia aumente a mayor pendiente tal vez se deba a que las zonas con inclinación moderada o fuerte están más expuestas y por ello, los pinos intercepten con mayor facilidad las semillas transportadas por el viento o por aves.

El que la probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* aumente en las comunidades de pino abierta y semiabierta (pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal), es posible que se deba a que el espaciamiento entre árboles o apertura del dosel favorece su dispersión por viento, además de que son sitios que reciben mayor incidencia de luz solar y esto favorece la fotosíntesis, da lugar a la proliferación de brotes aéreos y acelera las fases fenológicas (Gutiérrez y Reséndiz, 1994; Robinson y Geils, 2006; Cibrián *et al.*, 2007). Por otra parte, ambos tipos de comunidad podrían representar una variable parcialmente antrópica, ya que como se mencionó anteriormente, la zona fue explotada en el pasado, lo que pudo originar las distintas comunidades dentro del bosque. Hoy en día, probablemente sean áreas con influencia de incendios, pastoreo y tala clandestina. En este sentido, Lowman y Rinker (2004) mencionan que las plantas parásitas están asociadas a este tipo de ambientes, ya que estas condiciones afectan la fisiología de los hospedantes, haciéndolos vulnerables al contagio de cualquier organismo patógeno.

La distancia al camino más cercano influye de manera negativa en la probabilidad de ocurrencia de ambas especie de muérdago enano, es decir, aumenta con la cercanía al camino más próximo. Lo anterior tal vez sucede porque las zonas cercanas a los caminos brindan condiciones similares a las que ofrece la comunidad de pino abierta y semiabierta; sin embargo, también representan ambientes modificados por el hombre. Bowen *et al.* (2009) mencionan que la abundancia de los muérdagos responde a los cambios antropogénicos provocados en la

estructura del paisaje, de tal manera que la abundancia aumenta cuando los paisajes se modifican, en particular con la presencia de parches lineales.

En el caso de *A. globosum* subsp. *grandicaule*, la distancia al camino más próximo es la única variable que influye en su ocurrencia, esto probablemente indique que se trata de una especie que no es tan exigente como *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* en aspectos topográficos, ni en cuanto a la cobertura de su hospedante. Sin embargo, existe 90% de la variabilidad en la probabilidad de ocurrencia de esta especie que no es explicado por el modelo de regresión logística, y es probable que parte de esa variabilidad esté explicada entonces por variables de influencia humana o de perturbación.

Ambas especies de muérdago enano requieren de condiciones distintas para su ocurrencia; sin embargo, perturbaciones en el bosque, tales como los caminos, constituyen uno de los elementos que aumenta la probabilidad de ocurrencia de las dos especies.

Las variables predictivas incluidas en los modelos de regresión logística de ambas especies parecen encajar bien con lo que se conoce sobre la ecología y distribución de muérdago enano.

El modelo de probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* permitió integrar la información en un SIG. Los mapas obtenidos examinan y predicen su distribución geográfica y sus probables cambios en el tiempo dentro del bosque de *P. hartwegii* de la CRM, lo que resulta importante, ya que para fines de monitoreo y control, la distribución potencial de la especie hemiparásita debe ser conocida, lo cual a veces se ve frenado por el arduo trabajo de campo que ello implica. Rodríguez-Estrella y Sánchez-Colón (2004) mencionan que estos modelos resultan una herramienta útil para superar esa limitación, debido a que toman información de las variables para interpolar en el espacio y así poder predecir su ocurrencia en zonas no muestreadas, estimando así la distribución potencial de cualquier especie.

La probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*, aumenta en la comunidad *P. hartwegii*, lo cual posiblemente se deba a que el contagio entre árboles es más fácil gracias a la cercanía el uno con el otro. Lo anterior coincide con los resultados de Maloney y Rizzo (2002) quienes mencionan que la incidencia de *Arceuthobium* ssp. se relaciona de manera positiva con la densidad de *P. jeffreyi*. Cabe recordar que la probabilidad de ocurrencia de esta especie se asocia de manera negativa con la comunidad *P.*

hartwegii; por lo tanto, a manera de síntesis, existe mayor probabilidad de encontrar esta planta en la comunidad pastizal-*P. hartwegii* y *P. hartwegii*-pastizal; sin embargo, la probabilidad de encontrar mayor cantidad árboles infectados aumenta en la comunidad *P. hartwegii*.

Con el aumento en el número de árboles muertos en pie se incrementa la probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. Probablemente esto responda a alguna situación: una es que los árboles muertos en pie representen un indicador de ambiente modificado por el hombre el cual aparentemente está relacionado con la presencia de plantas parásitas (Bowen *et al.*, 2009). Otra es que, los árboles muertos en pie están estrechamente relacionados con las aves, por ser sitios de anidación y descanso (Salas, 1999; Delgado y Pedraza, 2002; Shaw *et al.*, 2004). En este caso las aves y no los árboles muertos en pie podrían ser las responsables de lo observado al dispersar las semillas de muérdago enano.

Por otra parte, a menor DAP existe mayor probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por ambas especies; en este contexto cabe recordar que, 89.8% de árboles infectados tienen DAP inferiores a 25 cm. Esto puede explicarse con que los árboles más jóvenes (con DAP pequeños) y por lo tanto, de alturas bajas, sean más fáciles de infectar, ya que son los que están expuestos a la lluvia de semillas que proviene de los árboles más altos (Hernández-Benítez *et al.*, 2005) y por ende con DAP más grandes.

Considerando que existe una muy baja probabilidad de que los tocones provengan de prácticas de saneamiento, representan entonces, un claro indicador de disturbio. Se encontró que la probabilidad de ocurrencia de árboles infectados con *A. globosum* subsp. *grandicaule* aumenta a mayor número de ellos. Este resultado apoya lo supuesto anteriormente respecto a esta especie. Se trata de una planta que se asocia más con variables de influencia humana o de perturbación que con variables topográficas o ambientales.

La primera clase de infestación fue la más frecuente a nivel de individuo y por consiguiente también lo fue a nivel parcela. En general, el bosque está levemente infestado exceptuando cuatro puntos que se muestran en el mapa de ubicación de las parcelas, los cuales presentan infestación moderada y severa. Lo anterior indica que el bosque de pino se encuentra a tiempo de recibir atención dirigida a dos situaciones: una de ellas es sanear a todos los individuos jóvenes para poderles brindar la oportunidad de crecer sanos, ya que al tratarse de un bosque

en el cual dominan, existe la posibilidad de que la clase de infestación ascienda conforme los pinos crezcan, lo que traerá como consecuencia mermas en su crecimiento tanto en altura como en diámetro y una mayor probabilidad de incendios en el bosque debido a la formación de escobas de bruja, esto último solo en el caso de infección por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*. La segunda es sanear los puntos con nivel de infestación “cuatro” y “cinco”, ya que representan una importante fuente de inóculo. El mapa de ubicación de las parcelas de muestreo resulta de gran ayuda para el diseño e implementación de un programa de manejo.

A pesar de que la cantidad de individuos infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule* es mucho menor que la de los infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*, la proporción de individuos infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule* con nivel de infestación “cinco” y “seis” es mayor (13% y 5% respectivamente) que la de los infectados con *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* (6% y 4% respectivamente). Por lo anterior y considerando que el incremento en el nivel de infestación es observable cada diez años (Vázquez *et al.*, 2006), es probable que *A. globosum* subsp. *grandicaule* tenga más tiempo de existencia en la CRM que *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*; sin embargo, no ha tenido tanto éxito en su dispersión horizontal como esta especie, pero sí en su dispersión vertical.

La probabilidad de ocurrencia del nivel de infestación “uno” aumenta con la disminución en la altura de los individuos de pino. Es probable que los pinos con alturas bajas generalmente presenten copas pequeñas con poca probabilidad de captar semillas y sean incapaces de alcanzar niveles de infestación altos debido a que tienen pocas ramas, así también los árboles más jóvenes tienen un menor tiempo de exposición a la lluvia de semillas de la planta hemiparásita (Hernández-Benítez *et al.*, 2005). Los árboles con alturas grandes, que generalmente son adultos, llevan más tiempo en el bosque y tienen copas grandes, por lo tanto, son estos los que presentan niveles de infestación diferentes a “uno”. Así, el nivel de infestación solo depende de características propias de los árboles y no de las variables ambientales ni antrópicas consideradas.

El que no se hayan encontrado árboles de pino con parasitismo dual ni parcelas donde coexistan ambas especies de muérdago enano, probablemente se deba a que ninguna de las dos especies han alcanzado la suficiente dispersión como para encontrarse en las mismas áreas

o individuos de pino, no obstante es muy probable que esta situación próximamente suceda ya que, existen dos polígonos que presentan *A. globosum* subsp. *grandicaule* separados mínimamente por un polígono con *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*; además, según el mapa de distribución potencial de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*, esta especie en un tiempo ocupará el área que actualmente ocupa *A. globosum* subsp. *grandicaule*, comenzando así la coexistencia y por lo tanto la competencia entre ambas especies.

Los mapas generados permiten conocer, examinar y analizar la distribución actual y potencial, así como el nivel de infestación de muérdago enano en la zona de estudio, permiten también identificar de manera práctica áreas prioritarias para recibir tratamiento, así como zonas que pueden ser manejadas mediante un programa de prevención.

El 35% (353.5 ha aprox.) del bosque de *P. hartwegii* de la CRM actualmente está afectado por muérdago enano. De acuerdo con los mapas de distribución potencial, en un futuro la superficie infectada aumentará, ya que existen áreas que cumplen con las condiciones necesarias para que se establezca en ellas. Por lo tanto, se propone que la CRM sea considerada para recibir un programa de control y manejo por parte de las autoridades correspondientes, en el cual sería muy recomendable considerar el aprovechamiento de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*, por ser una de las plantas importantes en la medicina tradicional de la comunidad Magdalena Atlitlic (Hernández-Sánchez, 2009).

Los bajos porcentajes de varianza obtenidos en algunos de los modelos predictivos, pueden deberse a que en este estudio no se consideraron diversas variables, que según la literatura, influyen en la distribución del muérdago enano. Una de dichas variables es la relación de la fauna en la ocurrencia, incidencia y severidad de la infección. En la CRM existen 20 especies de aves (Delgado, 2011) y una de mamíferos (Gómez, 2009) que interactúan con el muérdago enano (Shaw *et al.*, 2004); por lo tanto, un estudio que incluya esta variable, contribuirá a conocer si la distribución del muérdago enano está relacionada con la distribución de alguna especie de animal y enriquecerá el diseño de un programa de control y manejo de la plaga, evitando así afectar poblaciones de otros organismos. Otras variables que se recomienda considerar en análisis posteriores son la luz bajo el dosel del bosque, la temperatura y la condición fisiológica del hospedante, ya que se ha demostrado que estas tres intervienen en la

producción de brotes aéreos y por lo tanto, en la distribución vertical de la hemiparásita (Shaw y Weiss, 2000); el efecto de distintas fuentes de disturbio antropogénico en especial en la ocurrencia de muérdago enano y en la severidad de la infección, ya que solo se conoce a través de un estudio que algunas de ellas como el fuego, presencia de basura y pastoreo al menos no se relacionan con el porcentaje de árboles infectados (Queijeiro, 2007); la arquitectura de la copa del hospedante, dado que se conoce que la altura a la base de la copa y el tamaño de la copa está relacionada con la intensidad de la infección (Godfree *et al.*, 2002); y la dirección del viento, que por lo regular afecta el vuelo de las semillas e interviene en la polinización del muérdago enano (Hawksworth *et al.*, 2002).

El cambio climático podría afectar la epidemiología de las plantas parásitas, logrando alterar de manera directa los patrones de su distribución a través de modificaciones en su desarrollo y supervivencia y por medio de cambios drásticos en la fisiología de los hospedantes; y de manera indirecta mediante alteraciones en la abundancia y distribución de sus dispersores y/o de sus enemigos naturales (Ayres y Lombardero, 2000), por ello resultaría interesante, en futuras investigaciones, predecir a nivel regional sus patrones de distribución en distintos escenarios de cambio climático.

Del total de árboles censados, 28% aparentemente no estaba infectado por muérdago enano, estos individuos conforman un grupo interesante de pinos inmunes sometidos a la infección, el cual podría resultar ideal para realizar estudios de identificación de genes de resistencia; ya que recientemente se ha considerado que el conocimiento de los patrones de resistencia genética del hospedante, es un componente clave en el manejo integral de plagas (Gutiérrez-González, 2012).

IX. CONCLUSIONES

En la CRM, aproximadamente 319.6 ha están infectadas por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y 33.9 ha por *A. globosum* subsp. *grandicaule*. En total, 35% del bosque de *Pinus hartwegii* está afectado por muérdago enano. No se encontraron sitios donde coexistan ambas especies, ni la presencia de alguna otra plaga.

La probabilidad de ocurrencia de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* se relaciona de manera positiva con la pendiente, y de manera negativa con la altitud, la distancia al camino más cercano y la comunidad *P. hartwegii*.

La probabilidad de ocurrencia de *A. globosum* subsp. *grandicaule* se relaciona de manera negativa con la distancia al camino más cercano.

El 72% de los árboles censados están infectados por muérdago enano. Todos los tamaños de diámetro a la altura del pecho (2 a 50 cm) y alturas (0.20 a 22 m) fueron susceptibles a la infección; sin embargo, 63.3% de individuos infectados son menores a 6 metros de altura y 89.8% de ellos tienen DAP menores a 25 cm.

Del total de árboles infectados, 79% presenta *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* y 21% *A. globosum* subsp. *grandicaule*.

La probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* está relacionada positivamente con el número de árboles muertos en pie y con la comunidad *P. hartwegii*, y negativamente con el DAP.

La probabilidad de ocurrencia de árboles infectados por *A. globosum* subsp. *grandicaule* se asocia positivamente con el número de tocones y negativamente con el DAP.

La clase de infestación más repetida a nivel individuo y parcela fue “uno”. Ninguna parcela presentó la clase de infestación “seis”. A nivel de individuo se encontraron todas las clases de infestación.

La probabilidad de ocurrencia del nivel de infestación “uno” está relacionada negativamente con la altura de los árboles.

Ambas especies requieren de condiciones distintas para su ocurrencia e incidencia. El nivel de infestación solo depende de características propias de los árboles y no de las variables ambientales ni antrópicas consideradas en este estudio.

Los mapas generados permiten identificar de manera práctica zonas prioritarias para recibir tratamiento o zonas ideales para contar con medidas de prevención.

Es necesario contar con investigación adicional para estudiar la influencia en la probabilidad de ocurrencia de muérdago enano, de los árboles infectados y de los distintos niveles de infestación de variables que no se consideraron en este estudio como la luz bajo el dosel del bosque, la temperatura, la fisiología del hospedante, el efecto del disturbio antropogénico, la arquitectura de la copa de los árboles, la dirección del viento, el efecto del cambio climático y en especial la conducta y distribución de vectores como las aves o mamíferos.

Se espera que este estudio sirva de pauta para el diseño de un programa de manejo y control de muérdago enano en la CRM, D.F., por parte de las autoridades correspondientes, en el cual sería muy recomendable considerar el aprovechamiento de *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*, por ser una de las plantas importantes en la medicina tradicional de la comunidad Magdalena Atlitic.

X. LITERATURA CITADA

- Almeida-Leñero, L., M. Espinosa, J. Jujnovsky, M. Nava, M. de J. Ordoñez y A. Ramos. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica* 84-85: 53-64.
- Álvarez, K. 2000. *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de Los dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 127 p.
- Andrade-Cetto, A. y M. Heinrich. 2005. Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* 99: 325-348.
- Arauz, L. 1998. *Fitopatología: un enfoque agroecológico*. Editorial Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 467 p.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. *La vegetación en la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 92 p.
- Ávila-Akerberg, V. 2004. *Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena: diagnóstico hacia la restauración ecológica*. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 103 p.
- Ávila-Akerberg, V., B. González-Hidalgo, M. Nava-López y L. Almeida-Leñero. 2008. Refugio de fitodiversidad en la Ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 2: 605-619.
- Ávila-Akerberg, V. 2010. Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. *Culterra* (56). Institut für Landespflege. Alemania. 209 p.
- Ayres, M. y M. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment* 262: 263-286.
- Boland, G., M. Melzer, A. Hopkin, V. Higgins y A. Nassuth. 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 335-350.

- Bowen, E., C. McAlpine, A. House y G. Smith. 2009. Agricultural landscape modification increases the abundance of an important food resource: Mistletoes, birds and brigalow. *Biological Conservation* 142:122-133.
- Caballero, M. 1970. *La frecuencia de los daños al bosque (área de coníferas en Zacatecas, Sinaloa, y Jalisco)*. Publ. 14. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México. 28 p.
- Carabias, F. 1976. Mejoramiento ambiental y planeación de un parque en la cañada de Contreras, México. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 127 p.
- Cervantes, A., M. de J. Marques y G. Rivera. 2006. *Análisis estadístico. Un enfoque práctico con Statgraphics*. FES Zaragoza, UNAM. México. 113 p.
- Cibrián, D., R. Alvarado y D. García. 2007. *Enfermedades forestales en México/Forest diseases in Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo. CONAFOR-SEMARNAT. Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte, COFAN, FAO. México. 587 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Manual de Sanidad Forestal. Fecha de consulta: septiembre 2012.
URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=10&articulo=810>
- Coria, V., I. Vázquez, H. Muñoz y J. Villa. 2011. Impacto de tierra de diatomeas sobre *Arceuthobium globosum* Hawksworth & Wiens subsp. *grandicaule* en *Pinus pseudostrabus* Lindl. *Revista mexicana de ciencias forestales* 1: 39-46.
- Crawley, J. 2007. *The R book*. Ed. John Wiley & Sons Ltd. Inglaterra. 951 p.
- Cullings, K. y J. Hanely. 2010. Dwarf mistletoe effects on soil basidiomycete community structure, soil fungal functional diversity, and soil enzyme function: Implications for climate change. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 1976-1981.
- Cullings, K., C. Raleigh y D., Vogler. 2005. Effects of severe dwarf mistletoe infection on the ectomycorrhizal community of lodgepole pine in Yellowstone Park. *Canadian Journal of Botany* 83: 1174-1180.
- Díaz, D. y M. López. 2008. Angiospermas parásitas y su impacto. *Revista Ciencia y Desarrollo* 219: 18-23.

-
- Delgado, C. 2011. *Avifauna de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 66 p.
- Delgado, L. y R. Pedraza. 2002. La madera muerta de los ecosistemas forestales. *Foresta Veracruzana* 4:59-66 p.
- Dobler, C. 2010. *Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F., México*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 55 p.
- Espinoza, M. 2005. *Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de Pinus hartwegii de la cuenca alta del río Magdalena, D.F.* Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 90 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Salud y vitalidad de los bosques. En: *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible*. Italia. 57-73 p.
- Fernández, A., F. Uribe, I. Ramírez, B. Apolinar y A. Vázquez. 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. *Gaceta ecológica* 62: 56-67.
- Ferreira, S. 2010. *Dendrocronología y estructura de Pinus hartwegii en la cuenca del río Magdalena D.F.* Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 60 p.
- Flores, M. 2008. *Evaluación del muérdago enano en P. cooperi en Durango*. Tesis de maestría en Ciencias en Gestión Ambiental. Instituto Politécnico Nacional. México. 130 p.
- Fortin, M. y M. Thomas. 2005. *Spatial analysis: a guide for ecologists*. Cambridge University Press. Inglaterra. 365 p.
- Geils, B. y F. Hawksworth. 2002. Damage, Effects, and Importance of Dwarf Mistletoes. En: Geils, B., J. Cibrián y B. Moody (eds.). *Mistletoes of North American Conifers*. USDA-Canadian Forest Service-SEMARNAT. USA. 57-65 p.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2000. *Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF)*, México. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 1 de agosto de 2000.

- Godfree, R., R. Tinnin y R. Forbes. 2002. The effects of dwarf mistletoe, witches' brooms, stand structure, and site characteristics on the crown architecture of lodgepole pine in Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1360-1371.
- Gómez, Y. 2009. *Mastofauna del suelo de conservación contrerense, México, D.F.* Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 90 p.
- González, E. M., E. González, E. López y F. Tena. 2004. *Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas.* Instituto Politécnico Nacional. México. 210 p.
- Gottfried, G. y R. Embry. 1977. *Distribution of Douglas-fir and ponderosa pine dwarf mistletoes in a virgin Arizona mixed conifer stand.* Research Paper RM-192. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. EUA. 16 p.
- Gutiérrez, L. y J. Reséndiz. 1994. Fenología del muérdago enano en el Desierto de los Leones, D.F. *Revista Ciencia Forestal en México* 19:41-62.
- Gutiérrez-González, G. 2012. *Resistencia genética del pino de montaña Pinus hartwegii Lindl. a especies parásitas.* Tesis de maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 68 p.
- Gutiérrez-González, G., R. Heredia-Bobadilla, A. Arzate-Fernández, A. Endara-Agramont, D. Cibrián-Tovar, M. Colín-Ferreyra. *En prensa.* Genetic resistance of mountain pine (*Pinus hartwegii* Lindl) trees to parasitic species.
- Hawksworth, F. 1977. *The 6 class dwarf mistletoe rating system.* USDA. FS. RM-48. EUA. 6 p.
- Hawksworth, F. y D. Wiens. 1996. *Dwarf Mistletoes: Biology, Pathology, and Systematics.* Agriculture Handbook 709. United States Department of Agriculture. Forest Service. E.U. 410 p.
- Hawksworth, F., D. Wiens y B. Geils. 2002. *Arceuthobium* in North America. En: Geils, B., J. Cibrián y B. Moody eds.). *Mistletoes of North American Conifers.* USDA-Canadian Forest Service-SEMARNAT. USA. 29-56 p.
- Henning, S. 2008. *Parasitic flowering plants.* Brill. USA. 438 p.
- Hernández-Benitez, R., Z. Cano y I. Castellanos. 2005. Incidencia de infestación de *Arceuthobium globosum grandicaule* (Hawks. y Wiens) en *Pinus hartwegii* (Lindl.) *Revista Ciencia Forestal en México* 30:79-86.

- Hernández-Sánchez, A. 2009. *Plantas medicinales y su efecto antimicrobiano: un servicio ecosistémico de la cuenca del río Magdalena, D.F.* Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 89 p.
- Hosmer, D. y S. Lemeshow. 2000. *Applied Logistic Regression*. John Wiley and Sons. EUA. 373 p.
- Lowman, M. y B. Rinker (eds). 2004. *Forest canopies*. 2da ed. Elsevier Academic Press. 517 p.
- Maloney, P. y D. Rizzo. 2002. Dwarf mistletoe-host interactions in mixed-conifer forests in the Sierra Nevada. *Phytopathology* 92:597-602.
- Manzo-Delgado, L., S. Sánchez-Colón y R. Álvarez. 2009. Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central México. *International Journal of Remote Sensing* 30: 4991-5013.
- Martínez, M. 1958. *Flora medicinal del Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Dirección de Recursos Naturales. México. 55 p.
- Mathiasen, L., F. Hawksworth y C. Edminster. 1990. Effects of dwarf mistletoe on growth and mortality of douglas-fir in the southwest. *Great Basin Naturalist* 50: 172-179.
- Muir, J., J. Turner y K. Swift. 2004. Coast Forest Region: Hemlock dwarf mistletoe stand establishment decision aid. *BC Journal of Ecosystems and Management* 5: 7-9.
- Nava, M. 2003. *Los bosques de la cuenca alta del Río Magdalena, D.F., México. Un estudio de la vegetación y fitodiversidad*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 66 p.
- Nickrent, D., M. García, M. Martín y R. Mathiasen. 2004. A phylogeny of all species of *Arceuthobium* (Viscaceae) using nuclear and chloroplast DNA sequences. *American Journal of Botany* 91: 125-138.
- Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). 2009. *Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México. Distrito Federal. Informe final presentado por el Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM, a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 132 p.
- Queijeiro, M. 2007. *Interacciones entre dos especies de muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) y *Pinus hartwegii* en el parque nacional Zoquiapan, Estado de México: el papel del disturbio*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 50 p.

- Ramírez, J. y E. Porcayo. 2010. Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium sp.*) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque* 31: 28-38.
- Ramos, A. 2008. *Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la Zona Protectora Forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México*. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 99 p.
- Robinson, D. y B. Geils. 2006. Modelling dwarf mistletoe at three scales: life history, ballistics and contagion. *Ecological modeling* 199: 23-38.
- Rodríguez-Estrella, R. y L. Bojórquez (Editores). 2004. *Spatial Analysis in raptor ecology and conservation*. CIBNOR-CONABIO. México. 212 p.
- Rodríguez-Estrella, R. y S. Sánchez-Colón. 2004. Predictive models of raptor habitats in Baja California Sur, México: a comparison of logistic and classification tree models. En: Rodríguez-Estrella, R. y L. Bojórquez. 2004. *Spatial Analysis in raptor ecology and conservation*. CIBNOR-CONABIO. México. 179-212 p.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Segunda ed. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. 1406 p.
- Salas, A. 1999. Árboles muertos en pie y su relación con las aves silvestres en un bosque del México. *Observatorio medioambiental* 2: 287-294.
- Secretaría de Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal-Universidad Nacional Autónoma de México (SMA-GDF-UNAM). 2008. *Plan maestro de rescate integral de la cuenca del río Magdalena*. México. 545 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. *Compendio de estadísticas ambientales 2011*. Fecha de consulta: Septiembre 2012.
URL: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html
- Shaw, C. y B. Weiss. 2000. Canopy light and the distribution of hemlock dwarf mistletoe (*Arceuthobium tsugense* [Rosendahl] G.N. Jones subsp. *tsugense*) aerial shoots in an old-growth Douglas-fir/western hemlock forest. *Northwest Science* 74:306-315.

- Shaw, D., D. Watson y R. Mathiasen. 2004. Comparison of dwarf mistletoes (*Arceuthobium* spp., Viscaceae) in the western United States with mistletoes (*Amyema* spp., Loranthaceae) in Australia-ecological analogs and reciprocal models for ecosystem management. *Australian Journal of Botany* 52: 481-498.
- Tinnin, R., F. Hawksworth y D. Knutson. 1982. Witches' broom formation in conifers infected by *Arceuthobium* spp.: an example of parasitic impact upon community dynamics. *American Midland Naturalist* 107:351-359.
- Uribe, I. 1985. *Efecto del muérdago enano Arceuthobium spp. en el crecimiento e incremento en árboles jóvenes de Pinus hartwegii en Zoquiapan, México*. Tesis de licenciatura en Ingeniería forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. 53 p.
- Vázquez, I., A. Villa y S. Madrigal. 2006. *Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán*. INIFAP-División forestal Uruapan, Michoacán. Libro Técnico Núm. 2. México. 98 p.